

Juho Tasanko

HÄIRIÖTILANTEIDEN ENNAKOIMINEN JOUSTAVASSA VALMISTUSJÄRJES- TELMÄSSÄ

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta (ENS)

Diplomityö

Huhtikuu 2019

TIIVISTELMÄ

Juho Tasanko: Häiriötilanteiden ennakoiminen joustavassa valmistusjärjestelmässä
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2019

Konepajateollisuuden tuotannossa yllättävät laiterikot aiheuttavat suuria kustannuksia odottamattomien tuotannon seisokkien ja kiireessä hankittujen varaosien sekä mahdollisen ylityön muodossa. Joustavan valmistusjärjestelmän tapauksessa kiire moninkertaistuu järjestelmän ollessa usein tuotannon sydän, joka valmistaa osia tehtaan muille prosesseille. Tällöin järjestelmän suunnittelematon käyttökatkos saattaa johtaa jopa koko tehtaan tuotannon pysähtymiseen.

Joustavia valmistusjärjestelmiä kehittävän, valmistavan ja toimittavan yrityksen kunnossapitoorganisaatiolla on elintärkeä rooli asiakkaiden tuotannon tukemisessa takaamalla järjestelmän luotettavuus ja käytettävyys. Globaalilla asiakaskentällä yllättäviin tilanteisiin tulee myös pystyä reagoimaan nopeasti, mikä etenkin pk-yrityksen tapauksessa saattaa resurssien kannalta olla haasteellista, ellei mahdotonta. Järjestelmän toimimattomuus tai viivästynyt ongelmanratkaisu saattaa aiheuttaa asiakkaalle suuria kustannuksia ja tehdä peruuttamatonta vahinkoa toimittajan maineelle.

Ennustava, kuntoon perustuva kunnossapito on erinomainen keino vähentää tai jopa eliminoida yllättävän vikaantumiset ja siten odottamattomat tuotannon pysähdykset. Kunnossapito pystytään hallitsemaan vähemmillä resursseilla ja kustannustehokkaammin, kun toimenpiteet voidaan tehdä itselle ja asiakkaalle sopivana, suunniteltuna ajankohtana. Tätä varten tulee kuitenkin tietää, milloin järjestelmän vika tulee ilmenemään. Järjestelmän osien kunnon tarkkailu ja seuranta on avainasemassa kun vikaantumista pyritään ennustamaan ja siten optimoidusti ennaltaehkäisemään. Kaikkia suuren automaatiojärjestelmän komponentteja ei kuitenkaan ole mielekästä tai välttämättä edes mahdollista alkaa tarkasti seuraamaan.

Tämän diplomityön ensisijainen tavoite oli tehdä kriittisyyskartoitus tilaajan kehittämään ja valmistamaan joustavaan valmistusjärjestelmätyyppiin ja määritellä järjestelmän toiminnalle olennaisten komponenttien keskinäinen kriittisyys loppuasiakkaan tuotannon kannalta. Näin voidaan perustellusti valikoida järjestelmän ne kohteet, joihin ennustavaan kunnossapitoon pyrkivää kunnonseurantaa aletaan kehittää. Kriittisyyskartoitusta varten arvioitiin joitain yritykseltä jo löytyvää tietoa hyödyntäviä tutkimusmenetelmiä, mutta lopulta se toteutettiin kokoamalla asiantuntijatyöryhmä yrityksen sisältä ja tekemällä kohdejärjestelmätyypille vika- ja vaikutusanalyysi. Tuloksena saatiin MS Exceliin koottu vika- ja vaikutusanalyysitaulukko, jota voidaan jäsenellä tarkasteltavan kohteen mukaan ja päivittää järjestelmän muuttuessa. Taulukosta voidaan tarkastella järjestelmän eri komponenttien vikaantumistapoja, vikaantumisen syitä, vikaantumisen vaikutuksia sekä analyysille ominaisia tunnuslukuja, kuten vikaantumisen vakavuutta, yleisyyttä ja havaittavuutta sekä komponentin kriittisyyttä.

Työllä oli lisäksi kaksi sivutavoitetta: kirjata työn aikana jo esiin nousevia kunnonvalvonnan menetelmiä ja tehdä ennustavan huollon kehitysprojektille alustava tiekarttamallinen suunnitelma. Työn tuloksia tullaan käyttämään ennustavaan kunnossapitoon tähtäävässä kehitysprojektissa.

Avainsanat: elinkaaripalvelut, ennustava kunnossapito, vika- ja vaikutusanalyysi, FMS

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Juho Tasanko: Predicting failures in a flexible manufacturing system
Master's thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Automation Technology
April 2019

In manufacturing industry, sudden machine breakdowns cause vast expenses in the form of unexpected production downtime, rushed spareparts orders and possible overtime to fix the situation and catch up on production. With a flexible manufacturing system even more so, as the system is often the heart of the production in the facility, providing material and parts to following processes. In this case the stopping of an FMS can lead to a complete production halt within the factory.

The maintenance organization of a company developing, manufacturing and delivering flexible manufacturing systems has a vital role in supporting the end customer's production by securing system reliability and availability. With a global customer base, the maintenance organization must also be ready to act fast in case of issues at a customer, which can be challenging resource-wise especially for a small or medium sized company. The downtime of the system or delayed resolution may cause a lot of additional expenses to the customer and do unrepairable damage to the supplier's reputation.

Condition based, predictive maintenance is an excellent way to mitigate or even eliminate unexpected failures of the system and thus also unexpected production stops. When the required maintenance activities can be carried out at a suitable and planned time for both the organization itself and the customer as well, it can be done with fewer resources and more cost-efficiently. For this, however, one must be able to predict when the failures are going to occur. Monitoring the state of the system components has a key role when attempting to predict and deter failures. It is not sensible to try to accurately monitor every component in a big automated system however.

The main goal of this master's thesis was to conduct a criticality analysis on the type of a flexible manufacturing system manufactured by the client, aiming to determine the system components' criticality for the end-customer's production. The results of the analysis were to be used as basis for making decisions regarding the scope of the development project with which the client progresses towards predicting failures in the FMS. Some methods, utilizing the already existing data from the client, were considered for the criticality analysis, but eventually it was carried out by forming an expert task force from within the client company and performing a failure mode and effects analysis (FMEA). The results of the analysis have been documented in an MS Excel analysis table, that can be rearranged and sorted in accordance to what variables are deemed important and what components observed. To keep the table up to date and relevant, the analysis table can and will also be updated as the system is developed further. The table can be used to observe the failure modes, failure causes and failure effects as well as the key figures of the analysis. These key figures include severity, occurrence and detectability of the failures and component specific criticality value.

The thesis had two side goals as well: to document any proposals and findings regarding potential development topics for the critical components during the analysis and research, and to prepare a rough roadmap-type project plan for the development project of the client. The results of the thesis will be used during the predictive maintenance development project.

Keywords: lifecycle services, predictive maintenance, failure mode and effects analysis, FMS

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Fastems Oy Ab:n kanssa ja Fastems Oy Ab:n tilauksesta. Fastems Oy Ab:hen viitataan työssä nimellä ”yritys”. Työn pääasiallinen tavoite on parantaa elinkaaripalveluiden tarjoomaa luomalla perusta hankkeelle, jossa tavoitellaan palveluiden kehittämistä ennakoivampaan ja ennustavampaan suuntaan. Visiona on mahdollistaa elinkaaripalveluiden tarjoaminen asiakkaille niin, että järjestelmien käytettävyys lähestyy häiriötilanteiden ennakoimisen johdosta sataa prosenttia. Työ on toteutettu tekemällä kriittisyyskartoitus yrityksen suurimman tuoteryhmän tuotteille, selvittämällä mahdollisia kehityskohteita, sekä luomalla kehitysprojektin jatkosuunnitelma.

Kiitokset työn ohjaajille professori Minna Lanzille ja professori Robert Pichéille Tampereen yliopistosta, jotka auttoivat pitämään työn tutkimuksellisen suunnan oikeana tämän hieman pitkäksi venyneen prosessin ajan.

Lisäksi haluaisin kiittää työn tilaajaa Kalle Peltosta, sekä vika- ja vaikutusanalyysin työryhmänä toimineita Janne Aaltoa, Mikko Saarikkoa, Juha-Pekka Rotkusta ja Elmeri Tanskasta. Ilman heidän asiantuntemustaan ja ohjaustaan työtä ei olisi ollut mahdollista tehdä siinä laajuudessa kuin se nyt tehtiin.

Erityiskiitos kuuluu kuitenkin kaikille niille jotka matkalla muistuttivat, että stressiin on tuskallista kuolla, avopuolisolleni Joannalle, joka omien opiskelukiireidensä ohessa jaksoi tsempata minut tämän projektin loppuun, sekä Siirilän E-P:lle, jonka avulla työstä viime hetkillä karsittiin hölmöyksiä pois.

Tampereella, 29.04.2019

Juho Tasanko

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|----|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 1.1 Yrityksestä | 2 |
| 1.2 Yrityksen kehityshanke ja työn tavoitteet | 3 |
| 1.3 Tutkimuskysymykset ja työn kulku | 3 |
| 1.4 Työn laajuus sekä rakenne | 4 |
| 2. LÄHTÖKOHDAT JA TEORIA | 6 |
| 2.1 Kunnossapito | 6 |
| 2.1.1 Kunnossapidon tunnusluvut ja käsitteitä | 8 |
| 2.1.2 Kunnossapidon kustannustehokkuus | 9 |
| 2.1.3 Kuntoon perustuva kunnossapito | 10 |
| 2.2 Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa | 12 |
| 2.3 Kriittisyyskartointi ja riskianalyysi | 12 |
| 2.3.1 ABC-analyysi | 13 |
| 2.3.2 Vika- ja vaikutusanalyysi | 14 |
| 2.3.3 Vika- ja vaikutusanalyysin prosessi | 20 |
| 2.3.4 Pareton periaate | 21 |
| 3. MLS-JÄRJESTELMÄT | 23 |
| 3.1 MMS | 25 |
| 3.2 Hyllystöhissit | 26 |
| 3.3 Laitteet | 27 |
| 3.4 PLC ja kenttäväylä | 28 |
| 3.5 Nykyiset datankeruu menetelmät | 29 |
| 3.5.1 Odometriadatan keruu MLS:ssä | 30 |
| 3.6 Elinkaaripalveluiden nykytila yrityksessä | 31 |
| 4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO | 33 |
| 4.1 Riskianalyysin menetelmät | 33 |
| 4.1.1 ABC-analyysi | 33 |
| 4.1.2 Varaosamyyniin perustuva kulutusanalyysi | 35 |
| 4.1.3 Teknisen tuen raportointi | 38 |
| 4.2 Vika- ja vaikutusanalyysi | 41 |
| 5. TULOKSET | 46 |
| 5.1 Vika- ja vaikutusanalyysi | 46 |
| 5.1.1 Kriittiset komponentit | 46 |
| 5.1.2 Kehityspotentiaali | 52 |
| 5.1.3 Vikaantumistyytit, -syyt ja vaikutukset tuotantoon | 54 |
| 5.2 Muiden menetelmien tuloksista | 55 |
| 5.2.1 Varaosamyynnin analyysin tulokset | 56 |
| 5.2.2 Teknisen tuen raportoinnin analyysin tulokset | 57 |

| | |
|---|----|
| 5.3 Kriittisten komponenttien kunnon seuranta ja vikaantumisen ehkäiseminen | 59 |
| 5.3.1 Komponenttien kunnonvalvonta | 60 |
| 5.3.2 Järjestelmän käyttäytymisen tarkkailu | 61 |
| 5.3.3 Vertaaminen valmistajan ohjearvoihin | 63 |
| 5.4 Vikaantumisen ehkäiseminen sekä vianetsinnän helpottaminen | 63 |
| 5.5 Tulosten luotettavuus | 65 |
| 5.6 Tulosten käytettävyys | 65 |
| 6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKO | 66 |
| 6.1 Kriittisyyskartoituksesta | 66 |
| 6.2 Kehitysprojektin jatko | 68 |
| LÄHTEET | 71 |
| LIITE A: VIK- JA VAIKUTUSANALYYSITÄULUKKO | 74 |
| LIITE B: KRIITTISIMMÄT KOMPONENTIT KOMPONENTTIRYHMITTÄIN | 75 |
| LIITE C: SERVICE DESK ISSUE CATEGORIES | 76 |

KUVALUETTELO

| | |
|---|-----------|
| <i>Kuva 1 Työn kulku</i> | <i>4</i> |
| <i>Kuva 2 PSK 6201 mukaiset kunnossapitolajit [5].</i> | <i>7</i> |
| <i>Kuva 3 Vika- ja vaikutusanalyysin neljä päätyyppiä. Käännetty lähteestä [18].</i> | <i>19</i> |
| <i>Kuva 4 Joustavan valmistusjärjestelmän soveltaminen. Käännetty lähteestä [22].</i> | <i>23</i> |
| <i>Kuva 5 Multi-level System [23].</i> | <i>24</i> |
| <i>Kuva 6 DMC-MDR sekä DMC-MD -hyllystöhissit [23].</i> | <i>27</i> |
| <i>Kuva 7 Latausasematyypit LSM ja LSF, sekä materiaalikuljetin MSC [23].</i> | <i>28</i> |
| <i>Kuva 8 Kriittisyys - kaikki analyysitaulukon rivit</i> | <i>50</i> |
| <i>Kuva 9 Kriittisyys - yksittäiset komponentit</i> | <i>51</i> |
| <i>Kuva 10 Teknisen tuen raportoinnin riskimatriisiesitys</i> | <i>58</i> |
| <i>Kuva 11 Kehitysprojehtin tiekartta</i> | <i>69</i> |

TAULUKKOLUETTELO

| | |
|---|-----------|
| <i>Taulukko 1 Arviointimenetelmän valinta. Käännetty lähteestä. [18].....</i> | <i>15</i> |
| <i>Taulukko 2 Esimerkinomaiset arvotustaulukot vakavuudelle, yleisyydelle ja havaittavuudelle. Käännetty lähteestä. [16].....</i> | <i>17</i> |
| <i>Taulukko 3 - Yrityksen varaosaluokittelun ABCD-malli (Fastems Oy Ab)</i> | <i>34</i> |
| <i>Taulukko 4 Yleisyyden arvottamisen ohjetaulukko.....</i> | <i>43</i> |
| <i>Taulukko 5 MLS:n järjestelmälaitteen 10 kriittisintä komponenttia.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Taulukko 6 MLS:n 10 kriittisintä komponenttia</i> | <i>47</i> |
| <i>Taulukko 7 MLS:n 20 kriittisintä, yksittäistä komponenttia.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Taulukko 8 Hyllystöhissin 10 kriittisintä, yksittäistä komponenttia</i> | <i>49</i> |
| <i>Taulukko 9 RPN Dkk, koko järjestelmän top 10</i> | <i>53</i> |
| <i>Taulukko 10 RPN Dkk, koko järjestelmän top 10 yksittäistä komponenttia.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Taulukko 11 Varaosamyynnin jakauma tuoteluokittain.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Taulukko 12 Service Desk -työpyyntöjen jakauma (komponenttilähtöinen vika)</i> | <i>58</i> |

LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|------|--|
| C | Materiaalikuljetin (Conveyor) |
| CRIT | Kriittisyys (Criticality) |
| D | Havaittavuus (Detectability) |
| Dkk | Detectability(kehitys, käännteinen) |
| ERP | Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise Resource Planning) |
| FMEA | Vika- ja vaikutusanalyysi (Failure Modes and Effects Analysis) |
| FMS | Joustava valmistusjärjestelmä (Flexible Manufacturing System) |
| IG | Nimikeryhmä (Item Group) |
| I/O | Ohjauksen tulot ja lähdöt (Input / Output) |
| KNL | Tuotannon kokonaistehokkuus (Käytettävyyys, Nopeus, Laatu) |
| LCS | Elinkaaripalvelut (Lifecycle Services) |
| LS | Latausasema (Loading Station) |
| MC | Työstökeskus (Machine) |
| MES | Tuotannonohjausjärjestelmä (Manufacturing Executing System) |
| MLS | Multi-level System |
| MMS | Manufacturing Management Software |
| O | Yleisyys (Occurrence) |
| PLC | Ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller) |
| RPN | Risk Priority Number |
| S | Vakavuus (Severity) |
| T1 | Työn tavoite 1 (kriittisyyskartoitus) |
| T2 | Työn tavoite 2 (kunnonvalvonnan menetelmät) |
| T3 | Työn tavoite 3 (kehitysprojektin tiekartta) |

1. JOHDANTO

Joustava valmistusjärjestelmä on usein erittäin kriittinen osa konepajateollisuusyrityksen tuotantoa. Vaikka järjestelmän käyttöaste ei olisikaan suuri, tulee sen luonnollisesti olla jatkuvasti toimintakykyinen. Mikäli järjestelmään tulee häiriö, seisovat pahimmassa tapauksessa kaikki tuotantolaitoksen työstökeskukset täysin, sillä raakamateriaalin toimitamisen keskukselle on mahdotonta. Tällöin kappaleiden toimittaminen seuraaville työvaiheille estyy, ja tuotanto pysähtyy. Monet konepajayritykset ovat myös itse alihankkijoita, jotka ovat sitoutuneet toimittamaan tuotteitaan asiakasyritykselle tietyin ehdoin. Tällöin kyse ei ole vain valmistusjärjestelmää käyttävän asiakkaan omasta tuotannosta vaan välillisesti myös heidän asiakkaidensa. Monessa tapauksessa järjestelmää ajetaan kolmessa vuorossa joista vain osa on miehitettyjä – yleensä aamu- ja/tai iltavuoro. Järjestelmän luotettavuus on tällöin avainasemassa tuotannon jatkumiseksi, myös miehitämättömän vuoron aikana. Pienetkin, napinpainalluksella kuitattavat häiriötilanteet aiheuttavat suuria kustannuksia, mikäli niitä ilmenee aikana, jolloin kukaan ei ole paikalla tilannetta korjaamassa.

Kunnossapidossa, kuten teollisuudessa yleensä, pätee lähes aina sääntö, että suunniteltu työ on halvempaa kuin suunnittelematon. Samoin voidaan sanoa työn tekemättömyydestä, eli niin kutsutusta tuotannon seisottamisesta. On merkittävässä määrin halvempaa suunnitella päivän tuotantokatkos määrääaikaishuoltoa varten ja teettää tuona päivänä henkilöstöllä jotain muuta, kuten sisäistä koulutusta, kuin antaa tuotannon jonkin sen osajärjestelmän pettäessä spontaanisti pysähtyä määräämättömäksi ajaksi. Kustannuksia kasvattavat myös mahdollinen ylityön teettämisen tarve tuotantovajeen paikkaamiseksi, minkä lisäksi jo rikkoutuneen kohteen korjauttaminen on mitä luultavimmin kallista niin sanotusti pikatoimituksena toimittajan pyytäessä siitä kovempaa hintaa. Tästä syystä tuotannonsuunnitteluun kuuluu olennaisena osana myös kunnossapidon suunnittelu, ja mitä paremmin ennakoitavaksi kunnossapito saadaan, sitä enemmän kustannuksissa säästetään pitkällä aikavälillä.

Monet laitetoimittajat pyrkivät minimoimaan häiriötilanteita erinäisin ennaltaehkäisevin huolto-ohjelmin ja -sopimuksin joita tarjotaan asiakkaille. Täysin rikkoutumattomiakaan tuotteita ei yleensä ole kannattavaa tehdä, sillä, mikäli ylipäättään mahdollista, olisi se

erittäin kallista ja saattaisi rampauttaa myynnin. Kuitenkin tuotteesta halutaan tehdä riittävän kestävä, että se täyttää asiakkaan tarpeen ja on hinta-laatu -suhteeltaan houkutteleva. Huolto-ohjelmastakaan ei voida tehdä liian tiivistä vain häiriöiden välttämiseksi, sillä tämäkin nostaa palvelun hintaa ja häiritsee asiakasta. Lisäksi näin järjestelmästä vaihdettaisiin varmasti useita, täysin toimintakykyisiä osia, täysin turhaan, mikä on myös ympäristön kannalta haitallista.

Ennaltaehkäisevän kunnossapidon (Preventive Maintenance) tarkoituksena on yleensä parantaa kohteen, kuten valmistusjärjestelmän, tilaa ennen kuin se huononee tarpeeksi aiheuttamaan häiriön. Ennaltaehkäisevän kunnossapidon laajuuden ja toteuttamistiheyden määrittäminen on kuitenkin haasteellista – yleensä se perustuu olettamuksiin järjestelmän osien kulumisesta, tai komponenttien valmistajien suosituksiin. Järjestelmät ja niiden käyttöympäristöt kuitenkin ovat yksilöitä, joten edellä mainittujen kaltaiset yleispätevät menetelmät kunnossapidon määrittelemiseksi eivät aina ole tarkkuudeltaan toivottulla tasolla.

Vaihtoehtoinen lähestymistapa kunnossapidolle onkin ennustava kunnossapito (Predictive Maintenance), jonka ajatuksena on kerätä ja analysoida järjestelmän tilaan liittyvää dataa. Tätä dataa analysoiden kunnossapidon toimenpiteet voidaan mitoittaa ja ajoittaa mahdollisimman tarkkaan järjestelmän käytettävyyden ja kunnossapidon kustannuksien minimoimisen kannalta. Tavoite on pidentää komponenttikohtaista elinkaarta, välttämällä samalla ennalta-arvaamattomat tuotannon pysähdykset. Ennustavaa kunnossapitoa kutsutaan myös kuntoon perustuvaksi kunnossapidoksi.

Tässä luvussa esitellään tämän diplomityönä tehdyn tutkimuksen perusta – miksi työ on tehty ja mitkä olivat työn olennaiset tutkimuskysymykset sekä tavoitteet. Työn laajuutta ja rakennetta avataan luvussa 1.4.

1.1 Yrityksestä

Fastems Oy Ab on suomalainen, yksityisesti omistettu joustavia valmistusjärjestelmiä valmistava tehdasautomaatioyritys joka on perustettu vuonna 1901. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Tampereella Lahdesjärvellä, mutta sen toiminta on myytyjen järjestelmien myötä laajentunut maailmanlaajuiseksi. Tuotantoa on Suomen lisäksi myös Saksan Issumissa, ja pienempiä toimipisteitä lisäksi Ruotsissa, Italiassa, Isossa-Britanniassa, Kiinassa ja Yhdysvalloissa. Näiden toimipisteiden kautta Fastems myy, asentaa ja käyttää paikallisesti uusia järjestelmiä sekä tarjoaa elinkaaripalveluita asiakkaille jo

luovutettuihin järjestelmiin. Fastems on toimittanut maailmanlaajuisesti yli 4000 järjestelmää [1].

1.2 Yrityksen kehityshanke ja työn tavoitteet

Yrityksessä on meneillään kehityshanke, jonka tavoite on ”tarjota aidosti ennakoivaa huoltoa asiakkaalle, järjestelmän todellista tilaa arvioiden”. Diplomityön tavoitteet ovat kehityshankkeelle välitavoite. Nämä tavoitteet ovat kriittisyyskartoitus (T1), kunnonseurannan menetelmät (T2) ja kehitysprojektin tiekartta (T3). Edellä mainituista kolmesta tavoitteesta T1 on työn ensisijainen tavoite. Kriittisyyskartoituksen tarkoituksena oli selvittää järjestelmän kriittisimmät komponentit asiakkaan tuotannon kannalta. Ehdotelma kunnon seurannan menetelmille kehitysprojektin jatkoa varten (T2) sekä kehitysprojektin alustava tiekartta (T3) otettiin mukaan työn sivutavoitteiksi.

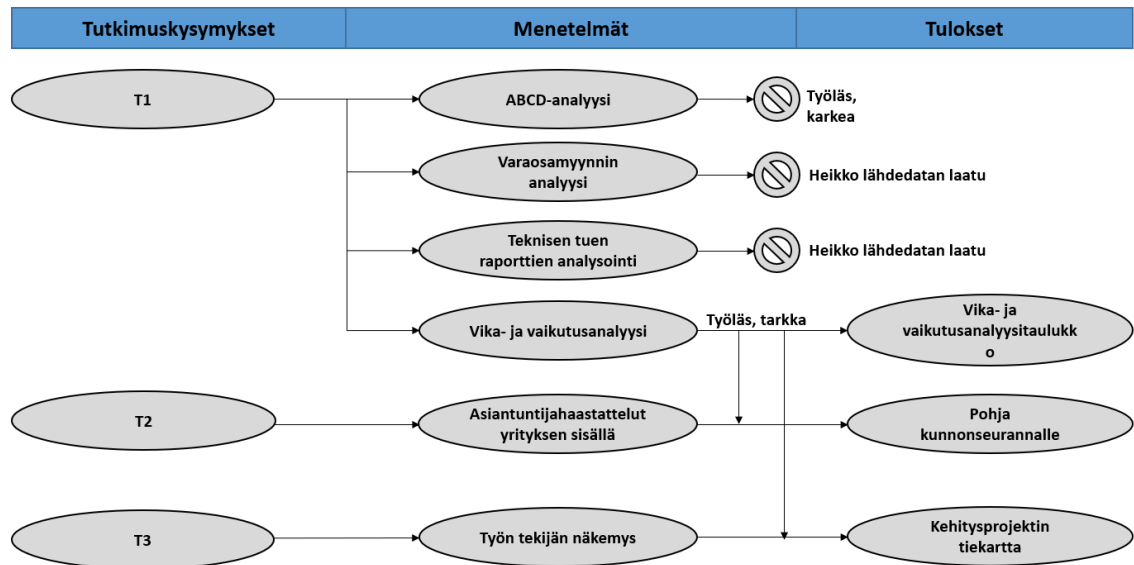
Tutkimuksen kohteeksi määräytyi työn tilaajan toimesta MLS (Multi-level System) -järjestelmätyyppi, joka on yrityksen suurimpia tuoteryhmiä. Ellei toisin ole mainittu, työssä viitataan MLS:ään termillä järjestelmä, sillä työssä ei käsitellä muunlaisia joustavia valmistusjärjestelmiä. Järjestelmän luonteen vuoksi tuloksia voitiin olettaa voivan käyttää myöhemmin osittain myös muihin tuoteryhmiin, sillä monet siinä läsnä olevat komponentit ovat käytössä myös muissa järjestelmätyypeissä. Tarkoitus oli määrittää järjestelmän eri osien ja osajärjestelmien kriittisyys asiakkaan tuotannon kannalta jollain siihen soveltuvalla menetelmällä. Kriittisyyskartoituksen menetelmän valintaprosessin eteneminen on esitelty luvussa 4, ja se on nähtävissä myös luvun 1.3 kuvassa 1. Tämän kriittisyyskartoituksen tulosten perusteella nostettiin esiin joitain keinoja, joilla kriittisimpien komponenttien reaaliaikaista kuntoa voitaisiin valvoa ja häiriötilanteita ehkäistä.

1.3 Tutkimuskysymykset ja työn kulku

Työssä käsitellyt tutkimuskysymykset pyrkivät vastaamaan työn tavoitteisiin ja siten edistämään yrityksen kehitysprojektin tavoitetta. Tavoitteisiin T1-3 vastaavat tutkimuskysymykset ovat:

- Mitkä ovat ne asiakkaan tuotannon kannalta kriittiset järjestelmän komponentit joiden tilaa yrityksen on hyödyllistä seurata? (T1)
- Mitä mahdollisia keinoja yrityksellä on järjestelmän tilan tarkkailtavuuden kehittämiseksi ja kehityshankkeen tavoitteen edistämiseksi? (T2)
- Miten yrityksen kehityshanketta olisi järkevää jatkaa työn jälkeen? (T3)

Ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen vastataan työn tuloksissa (luku 5). Tulosten hyödyntämistä sekä kehitysprojektin jatkoa käsitellään tarkemmin työn johtopäätöksissä (luku 6). Tutkimuskysymyksiin pyrittiin vastaamaan jonkin luotettavan kriittisyyskartoituksen menetelmän, yrityksen sisäisten asiantuntijahaastatteluiden, sekä työn tekijän oman selvitystyön avulla. Työn kulku on esitetty kuvassa 1, josta on myös nähtävissä, että lopulta valitusta kriittisyyskartoituksen menetelmästä saatiin olennaista sisältöä myös tavoitteiden T2 ja T3 tutkimuskysymyksiin vastaamiseen.



Kuva 1 Työn kulku

1.4 Työn laajuus sekä rakenne

Työ keskittyy pääosin MLS:n kriittisyyskartoitukseen, ja sen toteuttaminen olikin työn ensisijainen tavoite. Kriittisyyskartoituksen tulosten pohjalta on koottu ehdotelmia ensisijaisiksi kehityksen kohteiksi ja kunnonseurannan keinoiksi, tavoitteena häiriötön järjestelmä kuntoon perustuvan kunnossapidon kautta. Lopuksi yrityksen kehitysprojektia varten on luotu karkea tiekartta, josta on yleisellä tasolla nähtävissä projektin kulku ja kohteiden priorisointi. Huomioitavaa on, että MLS:n soluohjain, josta kerrotaan tarkemmin luvussa kolme, on jätetty kokonaan kriittisyyskartoituksen ulkopuolelle. Soluohjain on järjestelmän toiminnalle ensisijaisen tärkeä komponentti, mutta se on myös monimutkaisuudeltaan ja laajuudeltaan sellainen, että kyseisenkaltainen kartoitus ei tämän työn puitteissa olisi mahdollinen. Lisäksi aiheeseen on yrityksen sisällä jo paneuduttu, joten lisäselvitykselle ei soluohjaimen osalta katsottu olevan tarvetta.

Johdannon jälkeen, luvussa kaksi, on esitelty lähtökohdat ja teoria, sisältäen yrityksen nykyinen elinkaari palveluiden tarjoama kunnossapidon näkökulmasta sekä yleinen katsaus kunnossapitoon sekä kriittisyyskartoitukseen. Kunnossapidon osalta on keskitytty erityisesti kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Kriittisyyskartoituksen osalta lopulliseksi tutkimusmenetelmäksi valikoitunut vika- ja vaikutusanalyysi (FMEA) on myös esitelty laajemmin.

Luku kolme esittelee yrityksen tuotteen, kohteena olevan joustavan valmistusjärjestelmän (MLS), ja sen tärkeimmät osa-alueet. Järjestelmää ei käydä komponenttitasolla läpi, vaan tarkoitus on tuoda esiin järjestelmän rakenne ja ohjaus yleisellä tasolla, jotta ymmärretään minkälaisia komponentteja siihen kuuluu. Lisäksi järjestelmästä nykytilanteessa löytyvää diagnostiikkaa ja siitä kerättävää tietoa käydään hieman läpi.

Luvussa neljä esitellään työssä koetetut ja käytetyt tutkimusmenetelmät toteutustapoi-neen. Lopulliseksi menetelmäksi valikoitunut vika- ja vaikutusanalyysi käsitellään yksityiskohtaisemmin, työskentelyn prosessia ja tulosten muodostumista painottaen.

Luvussa viisi käydään läpi työn tulokset vika- ja vaikutusanalyysin osalta, sekä myös verrataan näitä tuloksia muiden käytettyjen menetelmien tuloksiin. Tulosten luotettavuus ja käytettävyys on arvioitu. Luku sisältää myös ne työn tekijän kirjaamat suositukset kuntoon perustuvaa kunnossapitoa edistävää kehitysprojektia varten, jotka työn aikana ovat nousseet esiin, ja joista voidaan joko erillisten tutkimusten tai asiantuntijahaastatteluiden perusteella olettaa olevan hyötyä. Lopuksi luvussa kuusi palataan lyhyesti työn kulkuun, pohditaan sen käytettävyyttä sekä kerrataan tulosten ja kehitysprojektin jatkosuunnitelman pääkohdat.

2. LÄHTÖKOHDAT JA TEORIA

Kuten luvussa yksi on pohjustettu, on yrityksen tarkoituksena kehittää elinkaaripalveluitaan suuntaan, jossa asiakkaille tarjotaan oikeita asioita oikeaan aikaan yhä tarkemmin ja tehokkaammin. Tavoitteena on sekä parantaa asiakastyytyväisyyttä, että säästää resursseja. Häiriöiden suunniteltu ja oikein ajoitettu ehkäisy on aina kustannustehokkaampaa kuin niihin reaktiivisesti vastaaminen, minkä lisäksi suurempi käytettävyys ja ennakkoimattomien tuotantopysähdysten välttäminen lisää asiakastyytyväisyyttä [2].

Elinkaaripalveluihin lukeutuvat varaosamyynti, ennaltaehkäisevä kunnossapito, huolto, koulutus, konsultaatio, modernisaatiot, sekä tekninen tuki [3]. Näiden palveluiden ajallinen ja määrällinen suunnitteleminen on yksi liiketoiminnan suurimpia haasteita. Asiakas saattaa suhtautua liian aggressiiviseen palvelun tarjoamiseen negatiivisesti, eikä myöskään ole hyvä saada asiakasta ostamaan suureen hintaan esimerkiksi varaosia jotka vanhenevat asiakkaan varastoon.

Asiakkuuden tyypistä riippuen, pyritään häiriöitä joko ehkäisemään mahdollisimman tehokkaasti, tai niihin pyritään vastaamaan mahdollisimman nopeasti. Häiriöitä ehkäistessäkin eroa on sillä, tarjotaanko palveluita kiinteään kausittaiseen hintaan vai toteutuneiden kulujen mukaan. Kiinteällä hinnalla palveluntarjoaja pyrkii luonnollisesti minimoimaan omat kulunsa, mutta molemmissa tapauksissa tavoitteena on mahdollisimman pieni haitta asiakkaan tuotannolle. Nopeaa vasteaikaa taas ei usein voida täydellä varmuudella kustannustehokkaasti tarjota, joten on käytännössä myös palveluntarjoajan kannalta edullisempaa havaita ja ehkäistä häiriötilanteita ennakkoon, sekä ajoittaa määräaikaishuollot mahdollisimman tarkkaan [4].

Tässä luvussa perehdytään kunnossapitoon ja sen eri muotoihin, erityisesti kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Lisäksi tarkastellaan kriittisyyskartoitusta, joitain työn kannalta olennaisia kriittisyyskartoituksen menetelmiä, sekä Pareton periaatetta.

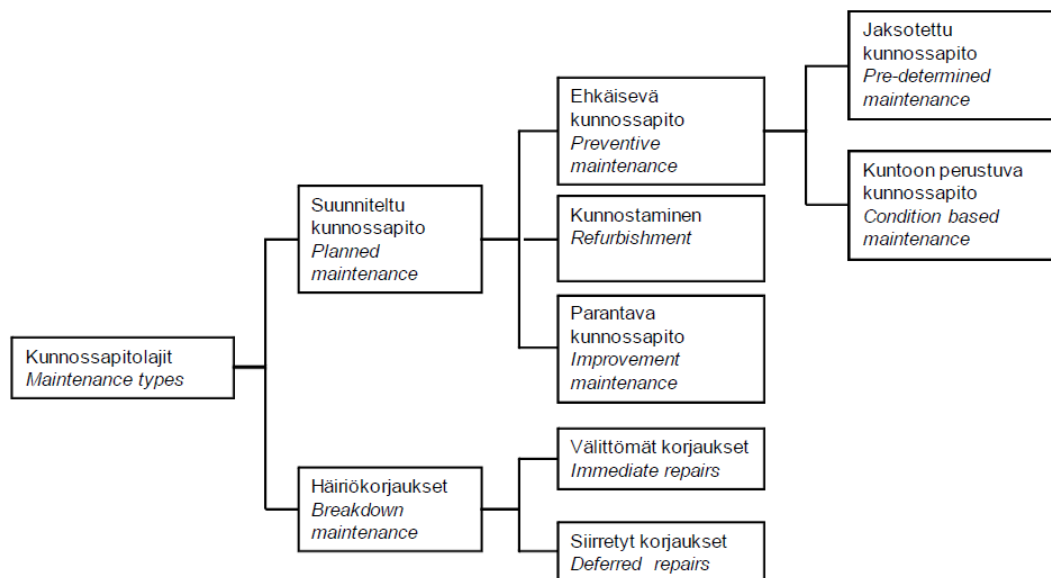
2.1 Kunnossapito

Standardin PSK 6201 mukaan kunnossapidon keskeisiä tavoitteita ovat tuotannon kokonaistehokkuus ja hyvä käyttövarmuus. Käyttövarmuus muodostuu toimintavarmuudesta, kunnossapidettävyydestä ja kunnossapitovarmuudesta. Kunnossapidolla tavoitellaan näiden lisäksi myös turvallisuutta, kustannustehokkuutta ja ympäristöystävällisyyttä.

Kunnossapidon kehitystyössä on järkevää kohdella inhimillisiä tekijöitä, kuten käyttäjien osaamista, teknisestä luotettavuudesta erillään [5].

Tuotannon kokonaistehokkuus on yksi tärkeimpiä kunnossapidon tavoitteita. Onhan tuotantolaitteiston kunnossapidon tarkoitus pitää yllä mahdollisuuksia suunniteltavaan, katkeamattomaan ja ennustettavaan tuotantoon. Kokonaistehokkuus on käytettävyyden, toiminta-asteen sekä laatukertoimen tulo [5]. Tuotannon kokonaistehokkuudesta ja muista kunnossapidon tunnusluvuista on kerrottu tarkemmin luvussa 2.1.1.

Kunnossapito jaetaan erilaisiin kunnossapitolajeihin sen mukaan, millaisesta kunnossapidosta on kyse. Kaikkien kunnossapitolajien tavoite on pitää kohde toimintakuntoisena tai saada se takaisin toimintakuntoon. Kuvassa 2 on esitelty kunnossapitolajien jaottelu standardin PSK 6201 mukaan.



Kuva 2 PSK 6201 mukaiset kunnossapitolajit [5].

Kunnossapitolaji vaihtelee suuresti kohteen ja käsillä olevan tilanteen mukaisesti. Käytännössä teollisuuden kunnossapidossa hyödynnetään yleisesti lähes kaikkia kuvan 2 mukaisia kunnossapitolajeja. Jopa häiriökorjausten tapauksessa, jossa vikaantuminen on jo tapahtunut, voidaan joskus välittömän korjauksen sijaan päätyä siirrettyyn korjaukseen [5]. Tämä voi tulla kyseeseen esimerkiksi silloin, kun vikaantuminen ei ole laadultaan kohteen toimintaa lamauttavaa, tai kun vikaantumisen lamauttama toiminto voidaan väliaikaisesti korvata jollain muulla toiminnolla ja kohdetta ei kokonaisuudessaan voida vaikkapa tuotantopaineiden vuoksi luovuttaa kunnossapidolle. Suunnitellun kunnossapi-

don osa-alueet taas menevät monesti osin päällekkäin, mutta kaikissa tapauksissa tavoitteena on suorittaa kunnossapidolliset toimet ennen häiriön ilmentymistä, perustuen esimerkiksi valmistajan ohjearvoihin, kohteen arvioituun tai havaittuun kulumaan, tai johonkin muuhun mittariin. Tavoitteena on toimia ennen vian syntymistä tai ja estää vaurion syntyminen [5].

Tässä työssä on kunnossapitolajeista keskitytty pääosin kuntoon perustuvaan kunnossapitoon, sillä yrityksen kehitysprojekti tavoittelee parannusta nimenomaan häiriöiden ennalta havainnointiin. Muitakin suunnitellun kunnossapidon osa-alueita sivutaan, etenkin niiltä osin joilla kuntoon perustuvan kunnossapidon on ajateltu olevan haasteellista tai esimerkiksi optimoidun jaksotetun kunnossapidon olevan mielekkäämpi vaihtoehto.

2.1.1 Kunnossapidon tunnusluvut ja käsitteitä

Kuten luvussa 2.1. on todettu, on tuotannon kokonaistehokkuus (KNL, Käytettävyyys, Nopeus, Laatu) käytettävyyden (K), toiminta-asteen (N) ja laatukertoimen (L) tulo. Se on yksi tärkeimmistä kunnossapidon ulkoisista tavoitemuuttujista (PSK 7501) [5]. Tässä luvussa on ensin selitetty, mitä noihin kolmeen osatekijään standardissa PSK 6201 on sisällytetty, ja lopuksi tarkastellaan kahta muuta tärkeää tavoitemuuttujaa, käyttövarmuutta ja kunnossapidettävyyttä, osatekijöineen.

Käytettävyyys tarkoittaa valitun kohteen kykyä ”olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla.”[5]. Käytettävyyden luonne riippuu paljon tarkasteltavasta kohteesta ja käyttötarkoituksesta, ja sitä pidetään tunnuslukutarkasteluissa aikakäsitteenä. Tämä tarkoittaa, että käytettävyyttä tarkastellessa mitataan pelkästään aikaa, yleensä prosentteina, jonka kohde on ollut käytettävissä. Laadullisia tai prosessinsuunnittelullisia häviöitä ei siis oteta huomioon [5]. Käytettävyyttä käytetään yleisesti luotettavuuden ja käyttövarmuuden synonyyminä [6].

Toiminta-aste on tuotannon toteuman ja maksimitoteuman suhde tuotannon käyntiaikana. Toiminta-aste voidaan laskea kaavalla $N = \text{tuotanto} / \text{nimellistuotantokyky} * \text{käyntiaika}$. Laatukerroin taas lasketaan jakamalla ns. hyväksytyjen kappaleiden tai muun hyväksytyjen tuotannon määrä kokonaistuotannon määrällä. Se on siis myynti- tai jatkojalostuskelpoisen tuotannon osuus kokonaistuotannosta ja lasketaan kaavalla $L = (\text{tuotanto} - \text{hylätty tuotanto}) / \text{tuotanto}$ [5].

Käyttövarmuus on käsitteenä määritelty käytännössä samoin kuin käytettävyys – se on kohteen kyky toimia vaadittaessa vaaditulla tavalla tietyissä olosuhteissa, olettaen että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla [5]. Käyttövarmuus on kuitenkin jaettu kolmeen tarkasteltavan kohteen ominaisuuteen: toimintavarmuuteen, kunnossapitovarmuuteen ja kunnossapidettävyyteen. Toimintavarmuus viittaa kohteen kykyyn suoriutua vaadituista tehtävistään vaaditun ajan. Toimintavarmuus voidaan määritellä myös todennäköisyytenä – kuinka todennäköistä on, että kohde pysyy käytettävänä vaaditun aikamääreen verran. Kunnossapitovarmuus taas kuvaa ”kunnossapito-organisaation kykyä suorittaa vaadittu tehtävä tehokkaasti määrätyissä olosuhteissa vaaditulla ajanhetkellä tai ajanjaksona”. Tässä tapauksessa määrätyillä olosuhteilla viitataan kohteen itsensä lisäksi myös paikkaan, jossa kohdetta käytetään ja jossa sitä kunnossapidetään [5].

Kunnossapidettävyys taas on kohteen itsensä ”kyky olla pidettävissä tilassa tai palautettavissa tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon määritellyissä käyttöolosuhteissa, jos kunnossapito suoritetaan määritellyissä olosuhteissa käyttäen vaadittuja menetelmiä ja resursseja” [7]. Kunnossapidettävyys on myös kunnossapidettävyyden suure. Kunnossapidettävyys viittaa siis siihen, kuinka helppoa kohta on pitää toimintakykyisenä tai palauttaa toimintakykyiseksi jos toimintakyky on menetetty tai alentunut. Kohteen kunnossapidettävyyteen ja sen mittaamiseen sisältyy lukuisia eri ominaisuuksia, kuten luoksepäästävyys, vaihdettavuus, testattavuus, itsediagnostiikka, huollettavuus ja vian paikannettavuus [5].

2.1.2 Kunnossapidon kustannustehokkuus

Kunnossapidon kustannukset voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: välittömiin- ja välillisiin kustannuksiin. Välittömiin kustannuksiin kuuluvat mm. kunnossapito-organisaation palkat ja muut työkustannukset, käytettyjen varaosien kulut, hankinta- ja varastointikustannukset, eri materiaalit ja tarvikkeet, alihankintana tilattu työ, sekä erilaiset hallintokulut. Välilliset kustannukset taas ovat kustannuksia, joita ei suoraan voida kohdistaa kunnossapidon kustannuksiksi tai ainakaan niitä ei voida helposti jakaa kunnossapidon eri toiminnolle. Näitä ovat esimerkiksi tuotantolaitteiston huonon kunnan aiheuttamat susikappaleet, epäonnistuneen työn uudelleen tekeminen, epäsuhtaiset varastot (esim. liian suuri puskurivarasto), liian suuri käyttöomaisuuden määrä, hallitsematon resurssien käyttö, ylityökustannukset, tuotannonsuunnittelun lisäkustannukset, tuotantovakuutukset, kasvaneet elinaikakustannukset, menetetty uustuotantomahdollisuus sekä epäkäytettävyyuskustannukset [6].

Välittömiä kustannuksia on yleensä helppo mitata, mutta niiden vaikutus toiminnan tulokseen on usein luultua pienempi. Välilliset kustannukset taas ovat sekä suuremmat kuin välittömät että yleensä toiminnankin kannalta merkitsevät. Niitä on kuitenkin vaikeampi mitata, vaikka se olisi kustannussäästöjä haettaessa elintärkeää. Näiden kustannusten lisäksi kunnossapidon kustannuksiin voidaan laskea myös erilaiset aineettomat menetykset, kuten huonolaatuisen toiminnan aiheuttamat turvallisuusongelmat, motivaation lasku ja yrityksen imagon luotettavana toimijana kärsiminen [6].

Kunnossapidon kustannustehokkuutta haettaessa lienee kuitenkin mielekästä kohdistaa toimenpiteitä niihin kohteisiin missä ongelmia on havaittu, kyseisten kustannusten tyyppistä riippumatta. Kunnossapidon kustannustehokkuuden edellytys on, että vaadittu työ suoritetaan mahdollisimman pienellä määrällä toimenpiteitä ja käytettyä työaika. Kriittisten kohteiden osalta joudutaan joskus myös tekemään kunnossapidollisia toimenpiteitä ns. ”varmuuden vuoksi”, samalla kuitenkin optimaalista tilaa hakien tekemällä työtehtävät oikeaan aikaan. Kustannustehokkuudelle oleellista on myös ammattimainen ja huolellinen työskentely, sillä huolimaton työnjälki saattaa johtaa kohteen rikkoutumiseen ja lisäkustannuksiin, joista mainittiin välillisissä kustannuksissa. Pelkkä henkilöstön osaaminen ei kuitenkaan sellaisenaan riitä, vaan tarvitaan selkeitä prosessikuvauksia ja työohjeita tukemaan tuota osaamista. Suoritetuista töistä ja tehdyistä havainnoista on pidettävä kirjaa, jotta kirjausten pohjalta voidaan tehdä rikkoutumista ehkäiseviä toimenpiteitä ja siten välttää turhia seisokkeja ja kustannuksia [8].

2.1.3 Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuva kunnossapito on suorituskyvyn ja/tai parametrien monitorointiin perustuvaa ehkäisevää kunnossapitoa. Toisin sanoen kunnossapidon toimenpiteiden perusteena käytetään kohteen tilasta tai suorituskyvystä tehtyjä havaintoja. Kuntoon perustuva kunnossapito perustuu täten kunnonvalvontaan ja käyttöparametrien seurantaan mutta pitää sisällään myös muut kunnossapitotoiminnot. Suomeksi voidaan käyttää myös termiä ennustava kunnossapito [9].

Standardissa PSK 6201 kunnonvalvonta määritellään taas seuraavasti: ”Kunnonvalvonnan toimenpiteitä ovat aistein sekä mittalaittein tapahtuvat tarkastukset ja valvonta sekä mittaustulosten analysointi. Kunnonvalvonnalla määritellään kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehittyminen mahdollisen vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohdan määrittämiseksi.” [5].

Joel Levittin kirjassaan *Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance* esittelemä sanakirjamääritelmä ennustavalle kunnossapidolle on:

”Predictive Maintenance is a proclamation or declaration in advance based on observation to preserve (something) from failure or sustain it against danger.” [10]

Vapaasti suomennettuna ennustava kunnossapito on siis ”havaintoon perustuva julistus tai ilmoitus jonkin vikaantumiselta tai uhkilta/vaaroilta suojaamiseksi”. Tästä määritelmästä hän johtaa myös seuraavat päätelmät [10]:

1. Kaikki tarkastustoimenpiteet ennaltaehkäisevän kunnossapidon tehtävälliställä ovat ennustavia tai ennaltaehkäiseviä siitä syystä, että kaikki tarkastukset havainnoivat kohteen kulumaa tai vaurioitumista, jonka jälkeen tarkkailija päättää, johtaako se mahdollisesti häiriöön. Tämän jälkeen tarkkailija tekee selkeän, ennustavan päätöksen kohteen tulevaisuudesta.
2. Ennustava kunnossapito on tapa tarkastella dataa. Määritelmä ei ota kantaa käytettyihin keinoihin, vaan vaikuttaa painottuvan järkeilyn ja kokemuksen soveltamiseen havainnoinnissa. Tärkeää on, että johtopäätökset perustuvat havaintoihin, arviointiin ja järkeilyyn sekä toimenpiteisiin, jotka määrittelevät onko kyseessä ennustava tai ennakoiva toimi. Moderneilla ilmaisulla voidaan sanoa ennustavan kunnossapidon olevan tapa käyttää dataa, ja mitä tuosta datasta päätellään, määrittelee ennustavuuden.

Yleinen kanta on, että termi ”ennustava kunnossapito” viittaa kunnossapitotoimintaa johon liittyy jonkinlainen mittalaite tai -teknologia. Mitä tahansa mittalaitetta voidaan käyttää ennustavassa kunnossapidossa jos sitä todella käytetään ennustaen sillä, kuten todettua, ennustava huolto perustuu siihen, miten dataa käytetään [10]. Ennustava kunnossapito eroaakin ennaltaehkäisevästä kunnossapidosta varsin hienovaraisesti: ennustavassa kunnossapidossa luettua mittaesarvoa verrataan ennalta määrättyyn tai muutoin saatuun lukemaan, kun taas ennaltaehkäisevän kunnossapidon tarkastuksessa tapana on tehdä ilmoitus kun kohde vaikkapa kuumenee tai siinä ilmenee voimakasta värinää. Ennustava kunnossapito parantaa luotettavuutta havaitsemalla komponentin heikentyneen tilan aikaisemmin kuin mitä se voitaisiin havaita huoltokäynnin yhteydessä, ja tämä aikaisempi havaitseminen antaa kunnossapito-organisaatiolle enemmän aikaa korjata tilanne ennen varsinaisia seuraamuksia. Tämä lisäaika hyödyttää esimerkiksi mahdollisesti laskemalla varaosien ja materiaalin kuljetuskustannuksia, helpottamalla

tuotannon- ja kunnossapidon suunnittelua sekä suoraan vähentämällä työn määrää. Lisäksi on epätodennäköisempää, että odottamaton vikaantuminen tapahtuu juuri kun kunnossapito-organisaatio sitä vähiten odottaa ja resursseja ei ole tarpeeksi [10].

2.2 Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa

Menettely eri kohteiden kriittisyyden arviointiin teollisuudessa on kuvattu standardissa PSK 6800. Kyseisessä menettelyssä kriittisyyttä arvioidaan taloudellisten vaikutusten, henkilöstöturvallisuuden ja ympäristövaikutusten näkökulmista [11], mutta tämän työn kannalta standardista löytyvät olennaiset määrittelyt kriittisyydelle sekä laitteiden kriittisyydelle.

Kriittisyys on riskin suuruutta kuvaava ominaisuus. Kriittiseksi kohde määritellään, jos siihen liittyvät riskit arvioidaan hyväksyttävää tasoa suuremmiksi. Riskin suuruus lasketaan tapahtuman todennäköisyyden ja sen seurausten tulona. Osana riskienhallintaa tehdään riskianalyyskejä, joilla tunnistetaan riskejä sekä ennakoitaan vahingollisia tapahtumia. Tavoitteena riskianalyysissä on selvittää riskin kohteet, riskin luonne, todennäköisyys toteutumiselle sekä mahdolliset seuraukset [11].

Laitteen kriittisyys muodostuu turvallisuus- ja ympäristötekijöistä, sen osuudesta tuotannossa sekä mahdollisista korjaus- ja seurauskustannuksista [11]. Seurauskustannuksista on kyse silloin, kun kohdelaitteen toimimattomuus aiheuttaa korjauskustannuksia tai jonkin toisen laitteen vikaantumisen [11].

2.3 Kriittisyyskartoitus ja riskianalyysi

Kuten edeltävässä luvussa on pohjustettu, on tarkasteltava kohde kriittinen silloin, kun siihen liittyvät riskit ovat hyväksyttävää tasoa suuremmat. Täten kriittisyyskartoitukseen kuuluu olennaisena osana riskianalyysi, sillä vasta riskit tuntemalla voidaan määrittää tarkasteltavien kohteiden kriittisyys.

Hyvän riskianalyysin pohjana on tarkasteltavan kohteen raja- ja analyysin tavoitteiden määrittely sekä kattava dokumentointi kaikista päätöksistä perusteluineen. Analyysimenetelmä on valittava kohteen, asetettujen tavoitteiden sekä käytössä olevien resurssien (asiantuntemus, aika, tieto) mukaan, ja käytettävän materiaalin tulee olla paitsi ajantasaista, myös valitulle menetelmälle soveltuvia. Riskianalyysi tehdään usein asiantuntijaryhmätyöskentelynä, ja edellytys hyvälle analyysille on, että kaikki työryhmässä mukana

olevat ovat motivoituneita analyysin tekemiseen ja valmiita jakamaan osaamistaan. Hyvin toteutetun ja dokumentoidun riskianalyysin tuloksia voidaan hyödyntää päätöksenteossa, perustelemaan riskienhallinnallisia toimenpiteitä tai vaikkapa koulutusmateriaalin osana [12].

Riskit voidaan jakaa eri luokkiin niiden seurausten vakavuuden (esim. vähäinen, haitallinen, vakava) ja todennäköisyyden (esim. epätodennäköinen, mahdollinen, todennäköinen). Esimerkiksi riski, joka on vähäinen ja epätodennäköinen, on merkityksetön riski. Vastaavasti riski jonka seuraamukset ovat vakavat ja joka on todennäköinen on sietämätön riski [13].

Esimerkkinä merkityksettömästä riskistä joustavassa valmistusjärjestelmässä mainittakoon vaikkapa sähkökaapin sisävalon rikkoutuminen. Tapahtuman todennäköisyys on varsin pieni ja seuraamus suurimmillaankin on pieni hankaluus huoltotyössä, eli tapahtuessaankaan sillä ei ole vaikutusta järjestelmän ydintoimintaan. Sähkönsyötön häiriöille herkat kenttäväylämoduulit sitä vastoin rikkoutuvat verrattain usein ja käytännössä lähes aina pysäyttävät järjestelmän osan, elleivät koko järjestelmää, vakavasti haitaten tuotantoa. Tällöin riski on vähintäänkin merkittävä, ellei jopa sietämätön.

Edellä mainitun kaltaisesti luokitellut riskit voidaan esittää esimerkiksi riskimatriisina, jota käytetään laajalti esimerkiksi prosessiturvallisuuden arvioinnissa arvottamaan ja järjestämään riskejä päätöksenteon helpottamiseksi [14]. Tässä työssä riskimatriisia on tosin käytetty vain teknisen tuen raportoinnin tuloksien esittelyyn luvussa 5.2.2. Myöhemmin tässä luvussa esitellyt ABC-analyysi sekä vika- ja vaikutusanalyysi ovat työssä kriittisyyskartoituksen menetelminä vahvemmin läsnä.

2.3.1 ABC-analyysi

ABC-analyysi on erotteleva analyysi, jonka tavoitteena on eritellä tarkastelukohteessa merkittävät asiat merkityksettömistä. Se on yleensä varastoitaviin tuotteisiin käytettävä luokittelumenetelmä, joka on sovellus ns. Pareton periaatteesta, eli 80/20-säännöstä. Tällä tarkoitetaan ajatusta, että 20% syistä aiheuttaa 80% seuraamuksista, jolloin tuohon 20 % osuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. 80/20-sääntöä on tarkemmin avattu luvussa 2.3.4 Pareton periaate.

ABC-analyysi ja 80/20-sääntö osoittavat, että kaikkia varastointinimikkeitä ei ole kannattavaa valvoa yhtäläisen tehokkaasti, vaan resursseja tulee kohdistaa eri kohteisiin niiden

tärkeyden, varastoinnissa usein kulutusosuuden, mukaan. Esimerkiksi varastonohjausta ei kuitenkaan voida suunnitella pelkän kulutuksen pohjalta, vaan huomioon on otettava esimerkiksi toimitusajat ja varastoitavan tuotteen kriittisyys valmistusprosessille [15].

Varastoitavat nimikkeet tai muut tarkasteltavat kohteet jaetaan niiden merkittävyyden, kuten kulutuksen perusteella eri luokkiin. Yleisesti luokka A sisältää merkittävimmät nimikkeet, esimerkiksi eniten myyvä 15% nimikkeistä, ja luokka C sisältää vähiten merkittävät nimikkeet. Mukaan otetaan joskus neljäs luokka D, jolloin puhutaan ABCD-analyysistä, mutta periaate pysyy samanlaisena. Analyysin tulosten sekä mahdollisesti nimikkeiden muiden ominaisuuksien perusteella nimikkeisiin kohdistetaan eritasoisia varastonohjausta: luokan A osat joilla on lyhyt toimitusaika voidaan hallita varastokirjanpidon kautta samoin kuin luokan B ja C osat joilla on pitkä toimitusaika, mutta luokan A osat joilla on pitkä toimitusaika vaativat tarkempaa, henkilökohtaista seurantaa etteivät ne varmasti pääse loppumaan. Vastaavasti luokkien B ja C osille joilla on lyhyt toimitusaika riittää visuaalinen ohjaus, sillä vaikka tapahtuisi virhe ja osat loppuisivat varastosta, olisivat seuraamukset oletettavasti lievät [15].

2.3.2 Vika- ja vaikutusanalyysi

Vika- ja vaikutusanalyysi (englanniksi FMEA, Failure Modes and -Effects Analysis) on kohteelle, kuten laitekokonaisuudelle tai järjestelmälle, tehtävä analyysi jossa selvitetään, mitä vikoja tarkastelukohteessa voi ilmetä, miten ne ilmenevät, mistä ne johtuvat ja miten ne vaikuttavat laitekokonaisuuden tai järjestelmän toimintaan [8]. Vika- ja vaikutusanalyysi on hyvin kustomoitavissa ja sitä voidaan soveltaa tarkoitukseen soveltuvalla tavalla [16].

Vika- ja vaikutusanalyysin periaatteet, soveltuvia käyttökohteita, sekä miten sitä voidaan hyödyntää on myös kuvattu standardissa IEC 60812:2018. Sen on ensimmäisenä luonut ja ottanut käyttöön Yhdysvaltain armeija 1940-luvulla, ja onnistuneen pilotoinnin ja kattavan dokumentoinnin seurauksena sitä alkoivat käyttää muiden muassa ydinvoimasekä ilmailu- ja avaruusteollisuus. NASA antoikin onnistuneiden kuulentojen osalta paljon tunnustusta työkaluna nimenomaan vika- ja vaikutusanalyysille, ja se on sittemmin laajentunut ja tullut yleisesti käyttöön monilla muillakin aloilla [17]. Siitä on myös luotu erilaisiin käyttötarkoituksiin soveltuvia versioita.

Taulukossa 1 näkyy joitain tapoja valita vika- ja vaikutusanalyysin arvot määrittelevä, kulloinkin soveltuva arviointimenetelmä. Tässä tapauksessa kyseeseen tuli vain ryhmäarviointi, sillä vaikka kohdejärjestelmä (MLS) ei konseptina tai mallina ole uusi, on tämän järjestelmätyypin hajonta laitekannassa liian suurta minkään tähän asti kerätyn datan luotettavaan hyödyntämiseen. Kuten luvussa 4 on todettu, ei esimerkiksi juuri tätä selvitystä varten kerättyä varaosamyyntin dataa ollut mahdollista luotettavasti hyödyntää.

Taulukko 1 Arviointimenetelmän valinta. Käännetty lähteestä. [18]

| Jos | Käytä | Valitse |
|---|--|---|
| Järjestelmä on samanlainen kuin jokin muu tai historiatietoa on olemassa | Tilastollista dataa joko aiemmista tai vastaavista järjestelmistä: luotettavuusdataa, todellisia jakaumia, matemaattisia malleja, simulaatioita | Tosiasiallista dataa ja/tai suorituskykyindeksiä |
| Järjestelmän, vastaavan järjestelmän tai sijaisosien vikahistoriatietoa on saatavilla | Historiatietoa luotettavuudesta, järjestelmästä, todellisista jakaumista, matemaattisesta mallinnuksesta, simulaatioista, kumulatiivisesta datasta ja/tai viallisten osuudesta | Tosiasiallista dataa ja/tai vikaantumisten kumulatiivista lukumäärää |
| Järjestelmä on uusi ja/tai mitään dataa ei ole määritetty | Ryhmäarviointi | Subjektiviisiä kriteerejä. Hyödynnä ryhmäkonsensusta ja pidäydä valinnoissa |

Vika- ja vaikutusanalyysin tuloksena saatava kriittisyysmäärittely tehdään yleensä hakeamalla tarkasteltaville kohteille ns. riskiprioriteetti-arvo RPN (Risk Priority Number), joka saadaan analyysissä arvoitettavien vakavuuden (Severity), yleisyyden (Occurrence) ja havaittavuuden (Detectability) tulona [16]. Jos havaittavuus jätetään pois, RPN lasketaan suoraan vakavuudesta ja yleisyydestä. Tällöin arvoa kutsutaan yleensä suoraan kriittisyydeksi (Criticality) [19]. Alla on lyhyesti selitetty vakavuuden, yleisyyden ja havaittavuuden merkitys vika- ja vaikutusanalyysissä:

- Vakavuus viittaa arvona vikaantumisen vaikutusten ja seuraamusten vakavuuteen. Sitä arvioidaan loppukäyttäjän näkökulmasta suoraan tarkastelukohteessa ja sen lähellä, ja arvolla viitataan vain ja ainoastaan vikaantumisen vaikutuksiin. Vakavuutta voidaan laskea vain konstruktion tai mallin muutoksella, ja mikäli muutos ylipäättään on mahdollinen, saattaa vikaantumistyyppin kokonaisvaltainen eliminointi olla niin ikään mahdollista [20].
- Yleisyys on vikaantumisen ilmenemistäajuus, eli kuinka usein vikaantumisen voidaan olettaa ilmenevän. Yleisyys on suhteellinen sijoitus yksittäisen vika- ja vaikutusanalyysin sisällä [20].

- Havaittavuus voi edustaa sitä todennäköisyyttä, millä vikaantumistapa voidaan odottaa havaittavan kohteen toiminnan aikana ennen kuin vikaantumisella on merkittäviä vaikutuksia. Mitä korkeampi arvo on, sitä epätodennäköisempää on vikaantumisen havaitseminen ennen sen vaikutuksia. Tällöin korkea havaittavuuden arvo nostaa myös tarkastelukohteen RPN-arvoa, jolloin vikaantumistavan ratkaisemisen prioriteetti kasvaa [16].

RPN:n asteikko riippuu siihen käytettyjen arvojen asteikoista. Yleisimmin käytetään kaikille kolmelle arvolle asteikkoa 1-10, mistä saadaan RPN:n asteikoksi 1-1000 [16]. Nämä asteikot voidaan kuitenkin muokata käyttökohteeseen paremmin soveltuviksi, mikäli analyysiä tekevä työryhmä niin päättää. Vakavuuden, yleisyyden ja havaittavuuden arvot tulee määrittää jonkin ohjearvotaulukon, joka näyttää kullekin arvolle sitä kuvaavan sanallisen selityksen, mukaan. Tällä edistetään analyysin yhdenmukaisuutta [16]. Nämä ohjearvotaulukot tulee niin ikään valmistella analysoitavaa kohdetta silmällä pitäen, eikä mitään yleismaailmallista pohjaa niihin ole. Standardi IEC 60812 esitteleekin moninaisia esimerkkejä eri kohteisiin sovelletuista vika- ja vaikutusanalyyseistä sen sijaan, että yksi yleisesti hyväksytty tapa olisi korostetusti esillä. Taulukossa 2 on esitetty yksi tällainen esimerkkitapaus, jossa vakavuuden, yleisyyden ja havaittavuuden arvotustaulukot on valmisteltu tuulivoimalalle.

Taulukko 2 Esimerkinomaiset arvotustaulukot vakavuudelle, yleisyydelle ja havaittavuudelle. Käännetty lähteestä. [16]

Tämä esimerkki on tehty tuulivoimalalle. Tyypillinen mitta-asteikko vakavuudelle saattaisi näyttää tältä.

| Vakavuus (S) | Kuvaus |
|--------------|--|
| 1 | Ei vaikutusta virrantuottoon; tarkastus 14 päivän kuluessa; varoitus ei pysäytä turbiinia; mahdollisesti komponenttivian aiheuttama |
| 2 | Virrantuoton lyhyt katkeaminen; tarkastus 14 päivän kuluessa; turbiinin sammuminen, kuittaaminen etänä; mahdollisesti komponenttivian aiheuttama |
| : | |
| 8 | Virrantuoton pidempiaikainen katkeaminen (2-4 viikkoa); merkittävän komponentin vaihto, huoltoalus tarpeen |
| 9 | Virrantuoton erittäin pitkäaikainen katkeaminen (yli 4 viikkoa); merkittävän komponentin vaihto, suuri huoltoalus tarpeen |
| 10 | Turvallisuusriski; koko rakenteen menettäminen; tuotannon pysähtyminen useiksi kuukausiksi |

Tämä esimerkki on tehty tuulivoimalalle. Tyypillinen mitta-asteikko yleisyydelle saattaisi näyttää tältä.

| Yleisyys (O) | Kuvaus |
|--------------|---|
| 1 | Vikaantumistapa ilmenee kerran 10 000 käyttövuodessa |
| 2 | Vikaantumistapa ilmenee kerran 2 000 käyttövuodessa |
| : | |
| 8 | Vikaantumistapa ilmenee kerran vuodessa jokaiselle laitteelle |
| 9 | Vikaantumistapa ilmenee neljän kuukauden välein jokaiselle laitteelle |
| 10 | Vikaantumistapa ilmenee kuukausittain jokaiselle laitteelle |

Tämä esimerkki on tehty tuulivoimalalle. Tyypillinen mitta-asteikko havaittavuudelle saattaisi näyttää tältä.

| Havaittavuus (D) | Kuvaus |
|------------------|---|
| 1 | Vikaantumistapa havaitaan aina ennen vaikutusten näkymistä |
| 2 | Vikaantumistapa on ilmeinen ja yleensä havaitaan ennen vaikutusten näkymistä |
| : | |
| 8 | Vikaantumistapa voidaan havaita vain tarkastuksin, kuten koetarkastuksin |
| 9 | Vikaantumistapa on vaikea havaita ja tulee siten lähes vääjäämättä vaikuttamaan |
| 10 | Kohdetta ei voida tarkastaa eikä vikaantumistapaa havaita, esimerkiksi estyneen pääsyn vuoksi |

Vikaantumistavat (failure mode) voidaan asettaa tärkeysjärjestykseen perustuen pelkkään vakavuuteen tai yhdistämällä se johonkin muuhun tärkeyden mittaan, kuten ongelman yleisyyteen (todennäköisyyteen) tai siihen vaikuttamisen mahdollisuuksiin [16]. Kun vikaantumistavat priorisoidaan näin, viitataan prosessiin yleensä vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysinä (FMECA – Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), ja IEC 60812 standardissa FMECA sisällytetäänkin termiin FMEA [16].

Tässä tutkimuksessa käytetty menetelmä on kyseisen kuvauksen mukaan FMECA, sillä vika- ja vaikutusanalyysiä tehdessä on vakavuutta arvioitu nimenomaan tuotantokriittisyyden näkökulmasta ja sitä käytetään pääasiallisena kriteerinä komponenttia kohteena priorisoitaessa. Työssä puhutaan kuitenkin yleisesti vika- ja vaikutusanalyysistä.

Vika- ja vaikutusanalyysistä on yleisesti ajateltu olevan kuvan 3 mukaiset neljä erilaista versiota erilaisiin käyttökohteisiin: System FMEA (järjestelmille ja konsepteille), Design FMEA (tuotteille niiden kehitysvaiheessa), Process FMEA (prosesseille), ja Service FMEA (palveluille). Käytännössä näitä versioita löytyy eri lähteistä useampia, mutta kyseessä voidaan ajatella olevan niiden neljän johdannaisia [18].

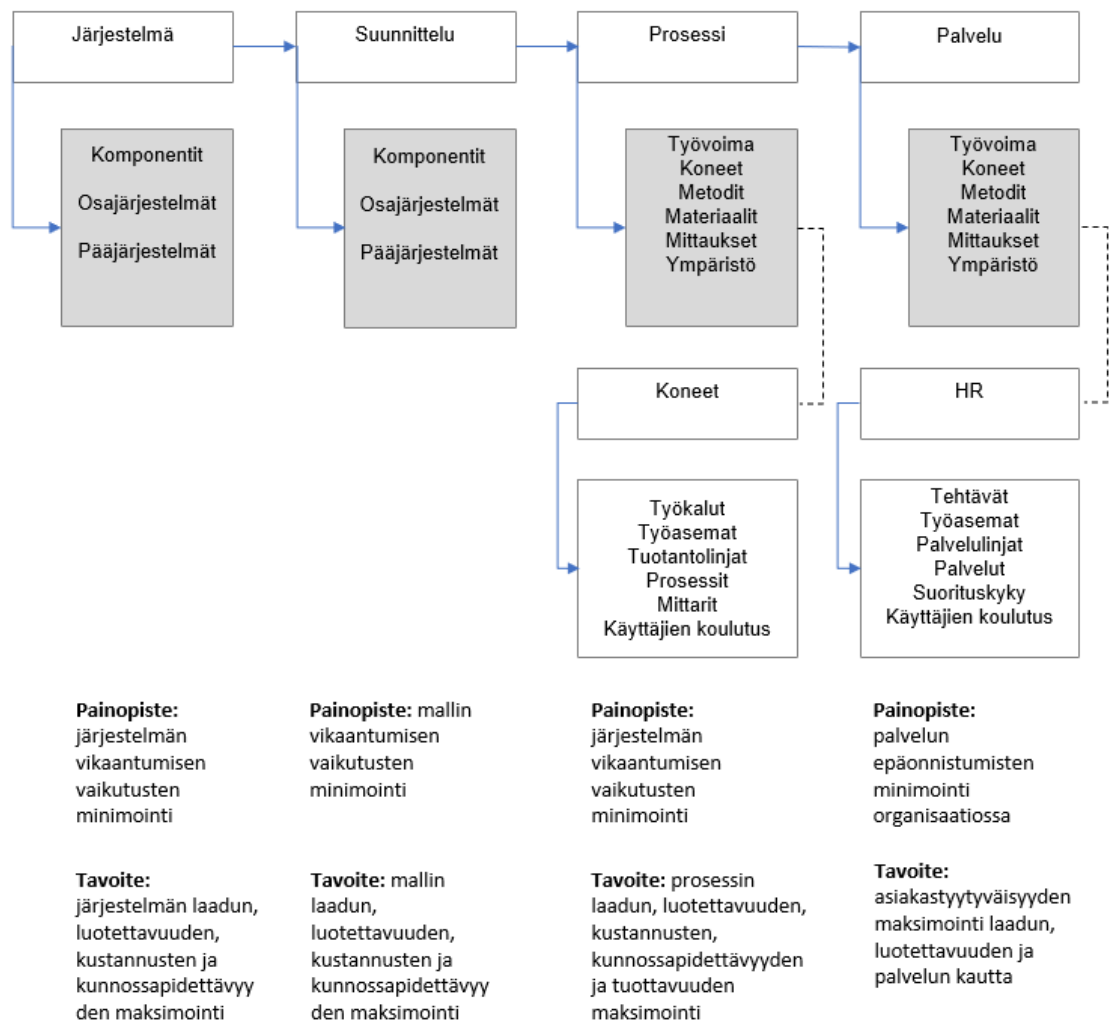
Tässä työssä käytetty vika- ja vaikutusanalyysin muoto kuuluu System FMEA:n alle, vaikka sitä usein käytetäänkin jo konseptointi- ja suunnitteluvaiheessa. Yrityksen järjestelmiä ja muita tuotteita kehitetään jatkuvasti, joten voidaan nähdä olemassa olevien järjestelmien pohjalta tehdyn analyysin olevan hyödyllistä tuolle kehitystyölle. Usein System FMEA:ssa arvioidaan järjestelmän osien välistä toimintaa ja toimintoja sekä näiden epäonnistumisen mahdollisuuksia, mutta tässä työssä on pohdittu nimenomaan komponenttilähtöisiä häiriötilanteita, ei järjestelmän prosessivirheitä. Stamatis esittelee System FMEA:n tuotoksia ja hyviä puolia kirjassaan vika- ja vaikutusanalyysistä seuraavasti [18]:

Tuotokset:

- RPN:n mukaan järjestetty lista vikaantumistavoista
- Lista järjestelmän toiminnoista, joilla havaita vikaantumista
- Lista toimenpiteistä, joilla voidaan eliminoida tai vähentää näitä vikaantumisen muotoja

Hyvää:

- Auttaa valitsemaan järjestelmän parhaan toteutustavan
- Auttaa vähentämään tarpeettomia tai ylimääräisiä toimintoja
- Auttaa määrittelemään perustan järjestelmädiagnostiikan menetelmille
- Parantaa ongelmakohteiden huomioimisen todennäköisyyttä
- Tunnistaa mahdollisia järjestelmän häiriöitä ja niiden vaikutusta muihin järjestelmiin tai osajärjestelmiin



Kuva 3 Vika- ja vaikutusanalyysin neljä päätyyppiä. Käännetty lähteestä [18].

Analyysin tuloksia tulkittaessa on kuitenkin hyvä muistaa, että menetelmä ei suinkaan ole aukoton, eivätkä sen tulokset välttämättä ole keskenään lineaarisessa suhteessa. Standardissa IEC 60812 on nostettu esiin muutamia vaaranpaikkoja, kun tuloksia arvioidaan pelkän RPN-arvon perusteella [16]:

RPN-asteikko ei ole jatkuva – kolmella arvotusasteikolla yhdestä kymmeneen voidaan päätyä vain 120:een eri lukuun välillä 1-1000, ja niiden jakauma ole tasainen.

Arvojen välisillä suhteilla ei ole erityistä merkitystä – vakavuus, yleisyys ja havaittavuus arvioidaan yhdenvertaisina, vaikka kunkin arvottamiseen käytettävä arvotusasteikko voi olla hyvin erilainen. RPN-arvon ero kohteiden välillä voi olla pieni, mutta niiden merkityksellinen ero suuri. Esimerkiksi pienellä yleisyysarvon kasvatuksella kohteen RPN voisi nousta 48:sta 60:een samoilla vakavuuden ja havaittavuuden arvoilla, mutta

kyseinen yleisyyden korotus todellisuudessa merkitsee huomattavaa eroa tapahtuman ilmenemistaajuudessa sen näkymättä merkittävästi kohteen RPN-arvossa.

RPN-arvo voi olla herkkä pieniinkin muutoksiin jossain arvoitettavista suureista – jos kaksi muuta arvoa ovat suuria, vaikuttaa pienikin muutos kolmannessa tuloksena saatavaan RPN-arvoon merkittävästi. Esim. $9 \times 9 \times 3 = 243$ ja $9 \times 9 \times 4 = 324$, mutta $3 \times 4 \times 3 = 36$ ja $3 \times 4 \times 4 = 48$.

Hyvä käytäntö RPN-arvon hyödyntämiseen on perehtyä kunkin arvioidun suureen luonteeseen ja eri arvojen väliseen skaalautuvuuteen ennen kuin lopputuloksesta tehdään johtopäätöksiä kohteen kriittisyyden suhteen.

2.3.3 Vika- ja vaikutusanalyysin prosessi

Vika- ja vaikutusanalyysi on varsin joustava ja yleensä käyttökohteen mukaan hyvin muokattava riskianalyysin menetelmä. Se tulee kuitenkin toteuttaa tiettyjen periaatteiden mukaisesti, jotta siltä voidaan odottaa sille tyypillisiä, käyttökelpoisia ja selkeitä tuloksia. Stamatis kuvaa vika- ja vaikutusanalyysin prosessin kahdeksassa vaiheessa seuraavasti [18]:

Kokoa työryhmä ja pohdi – varmista ryhmän koostuvan sopivista henkilöistä ja että ryhmä on monialainen ja halukas osallistumaan analyysiin.

Käytä toimintalohkokaaviota (Function Block Diagram) tai vuokaaviota – riippuen käytettävän vika- ja vaikutusanalyysin tyypistä kyseeseen tulee yleensä jompikumpi. Tavoitteena on saada työryhmä ymmärtämään arvioitava kohde, kuten prosessi, ja saada kaikki samalle aallonpituudelle ymmärtäen käsillä olevan ongelman.

Priorisoi – varsinainen analyysi alkaa ongelman ymmärtämisen jälkeen. Mikä osa kohteesta on merkittävä, mistä pitäisi aloittaa?

Kerää dataa – kohteen ongelma- tai häiriötilanteista aletaan kerätä ja luokitella tietoa. Tämä on myös työvaihe, jossa vika- ja vaikutusanalyysin taulukkoa aletaan täyttää.

Analysoi – saatavilla olevaa tietoa käytetään hyväksi päätelmien tekemiseksi. Analyysi voi olla laadullista tai määrällistä, ja mahdollisiin työskentelytapoihin kuuluvat mm. aivo-

riihi, syy ja seuraus -analyysi, QFD (Quality Function Deployment), DOE (Design Of Experiments), tilastollinen prosessinohjaus, mallinnukset, simulaatiot, luotettavuusanalyysi tai mikä tahansa muu työryhmän sopivaksi katsoma tapa.

Esitä tulokset – tulokset perustuvat aiemman vaiheen analyysiin. Tämän vaiheen tuloksia käytetään hyödyksi muodostettaessa vika- ja vaikutusanalyysiin kuuluvat lukuarvot vakavuudelle, yleisyydelle ja havaittavuudelle sekä RPN:lle jotka täytetään taulukkoon.

Vahvista/arvioi/mittaa – tulosten kirjaamisen ja kohteiden käsittelyn jälkeen tulee tilanne arvioida uudelleen.

Suorita uudelleen – huolimatta kohdan seitsemän lopputulemasta, on osa vika- ja vaikutusanalyysin filosofiaa ylläpitää jatkuvaa kehitystä. Analyysi on parannettujen kohteiden osalta päivitettävä ja priorisointi suoritettava uudelleen, jolloin nähdään mitkä kohteet analyysissä nyt nousevat esiin. Vika- ja vaikutusanalyysin pitkän tähtäimen tavoite on eliminoida kaikki mahdolliset häiriö- ja virhetilanteet. Analyysin pitkäjänteisyyttä arvioidaessa on toki otettava huomioon organisaation tarpeet, kustannukset, asiakkaat ja mahdollinen kilpailu.

On myös muistettava, että aiemmin kuvattuun vika- ja vaikutusanalyysin prosessiin kuuluvat myös viimeiset kaksi vaihetta – kohteiden uudelleenarviointi ja jatkuvan kehityksen mukainen toiminta. Kun kriittisimmät kohteet on määritetty ja ne on jollain tavoin käsitelty, tulisi ideaalitulanteessa vika- ja vaikutusanalyysi tehdä päivittää näiden kohteiden osalta ja jälleen määritellä uudessa tilanteessa tärkeimmät kohteet.

2.3.4 Pareton periaate

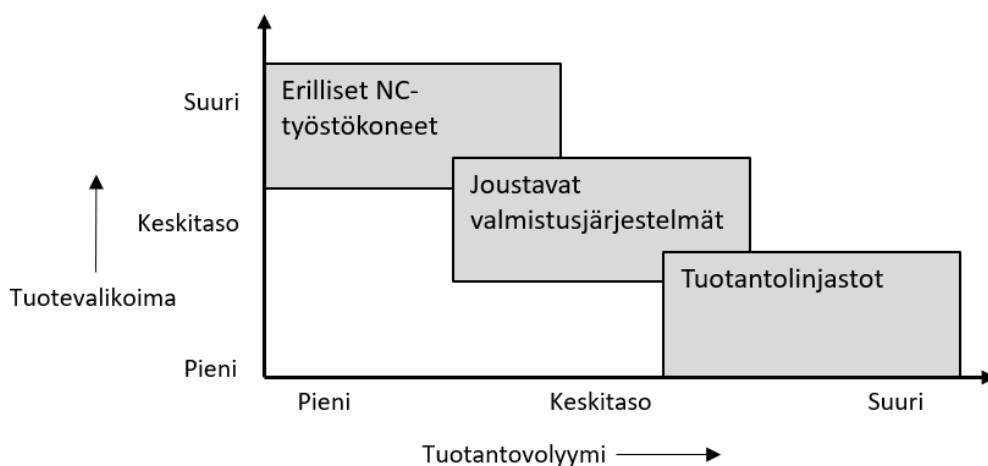
Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi niin kutsuttu Pareton periaate, jonka mukaan monissa ilmiöissä tai tarkastelukohteissa 80 % seurauksista on 20 % syistä aiheuttamia. Italialainen yhteiskuntatieteilijä Vilfredo Pareto huomasi 1897, että maasta ja alueesta riippumatta väestöstä vain 20 prosenttia vaikutti poikkeuksetta omistavan 80 % kaikesta vauraudesta [21]. Pareton periaatetta kutsutaan tuon 80/20 jakauman vuoksi myös 80/20-säännöksi. Sääntöä käytetään usein selittämään esimerkiksi sellaisia ilmiöitä kuin ”20 % yrityksen tuotteista johtaa 80 %:iin yrityksen myynnistä”, tai että ”20 % ajastamme johtaa 80 %:iin tuottavuudestamme” [21].

80/20-sääntö ymmärretään usein väärin, Chris Andersonin kirjassaan Pitkä häntä listaa-
mista kolmesta syystä. Ensiksi, kuten todettua, tuo suhde ei juuri koskaan ole tasan
80/20, vaan esimerkiksi 80/10. Toiseksi, suhteella 80/10 ei päädytä sataan prosenttiin,
mikä johtuu siitä, että nuo arvot viittaavat eri asioihin, joten näin asian ei ole tarkoituskaan
olla. Kolmanneksi sääntöä käytetään eri ilmiöiden kuvaamiseen, mistä syystä se usein
ymmärretään yleisesti ottaen väärin. Esimerkiksi aiemmin mainittu tuotteiden ja myynnin
välinen suhde voi aivan yhtä hyvin olla tuotteiden ja myyntivoiton suhde. Andersson lin-
jaakin tekstissään, että jakauman eri osiin asettuvia tuotteita, tai muita muuttujia, ei kan-
nata tuijottaa liian orjallisesti [21]. Ei ole järkevää esimerkiksi sokeasti pyrkiä keksimään,
mitä nuo 20 % tuotteista ovat ja sitten keskittyä myymään vain niitä, sillä ns. rajan huo-
nolla puolella oleva tuote voikin toisissa olosuhteissa tai muulla ajan hetkellä siirtyä tälle
puolelle 20 % joukkoon [21].

Tämän työn eri kriittisyyskartoituksen menetelmin saatuja tuloksia on verrattu Pareton
periaatteen mukaiseen jakaumaan tarkoituksena nähdä, onko ilmiö havaittavissa myös
tämän tutkimuksen tuloksissa ja siten joustavan valmistusjärjestelmän vikaantumiskäy-
töksessä.

3. MLS-JÄRJESTELMÄT

Joustavat valmistusjärjestelmät (FMS – Flexible Manufacturing System) ovat valmistusjärjestelmiä, joilla on kyky reagoida valmistusympäristön muutoksiin kuten kysyntään, materiaalin saatavuuden vaihteluun tai käytössä olevien työstökeskusten tai muiden resurssien äkillisiin muutoksiin. Joustava valmistusjärjestelmä koostuu kolmesta pääkohdasta: prosessointiasemista, materiaalinhallinta- ja varastointijärjestelmästä sekä niille yhteisestä ohjausjärjestelmästä [22]. Prosessointiasemat joustavassa valmistusjärjestelmässä ovat yleensä moniakselisia työstökeskuksia, lataus- ja purkuasemia, kokoonpano- ja tarkistuspisteitä, tai muita kappaleen työstöön tai muuhun käsittelyyn liittyviä työasemia. Materiaalinhallinta- ja varastointijärjestelmän tehtävä on toimia välivarastona ja siirrellä materiaalia tai kappaleita prosessointiasemille ja niiltä pois. Järjestelmällä tulee olla kyky kappaleiden itsenäiseen liikutteluun. Ohjausjärjestelmä koordinoi eri asemien ja materiaalinhallintajärjestelmän välistä toimintaa, hallitsee joustavan valmistusjärjestelmän sisäistä liikennettä, ohjaa yksittäisiä asemia ja monitoroi järjestelmän toimintaa. Joustava valmistusjärjestelmä soveltuu parhaiten tuotantoon, jossa sekä tuotevalikoima että tuotantovolyymi ovat keskitasoa (ks. kuva 4) [22].



Kuva 4 Joustavan valmistusjärjestelmän soveltaminen. Käännetty lähteestä [22].

MLS (Multi-Level System) on yrityksen yksi joustavien valmistusjärjestelmien tuoteperhe, joka koostuu moninaisista, usein asiakkaalle räätälöidyistä, joustavan valmistuk-

sen automaattioratkaisuista. Kaikkia MLS:iä yhdistävät tietyt perusominaisuudet: hyllystöhissi, hissikäytävä ajo- ja virtakiskoineen, lataus- ja mahdollisesti materiaaliasemat sekä kolmannen osapuolen työstökeskukset. Kuvan 5 MLS:ssä on kolme työstökeskusta (MC1-3), kaksi materiaalikuljetinta (C1 & C2) ja kaksi latausasemaa (LS1 & LS2). Järjestelmän hyllystöhissiä kuvassa 5 ei kuitenkaan näy. Hissi liikkuu ajokiskoa pitkin hyllystön välissä, kuljettaen työstettäviä kappaleita ja materiaalia lavoilla työstökeskusten, varaston ja eri laitteiden välillä. Työstökeskukset ovat järjestelmäkokonaisuuden tärkein osa, joiden palveleminen on itse MLS:n tarkoitus. Työstökeskukset työstävät raakamateriaalista valmiita kappaleita pääasiassa lastuavan työstön menetelmin, ja valmiit kappaleet puretaan järjestelmästä latausasemissa. Järjestelmä toimitetaan joko yhteistyössä työstökeskusvalmistajan kanssa, tai asiakkaan erikseen hankkimin työstökeskuksin, ja kommunikaatorajapinta järjestelmän ja työstökeskusten välillä sovitetaan tapauskohtaisesti. Kaikkien suurimpien työstökeskusvalmistajien kanssa yrityksellä on kuitenkin jo pitkä historia, joten nuo kommunikaatorajapinnat on monesti yhtenäistetty ja räätälöinnin tarve minimoitu.



Kuva 5 Multi-level System [23]

Tuotteena MLS on ollut osa yrityksen tarjoomaa jo pitkään, ja se on vuosien varrella kehittynyt merkittävästi sekä laitteiston että ylätasen ohjauksen ja laiteohjauksen osalta. Tätä kehitystä ei kuitenkaan ole vielä alettu hyödyntää ennustavaa kunnossapitoa (kuntoon perustuvaa kunnossapitoa) ajatellen kovinkaan paljon, vaan kyse on ollut enemmän järjestelmän suorituskykyä ja luotettavuutta parantavista muutoksista. Erityisesti ylätasen ohjausohjelmisto MMS (Manufacturing Management System) on kehittynyt edeltäjiinsä ja alkuvaiheen versioihin nähden vuosien varrella merkittävästi, ja se onkin alallaan

edistynein tuotannonsuunnittelun ja toteutuksen ohjelmisto. MMS tarkkailee toimintaympäristön muutoksia jatkuvasti ja pyrkii optimoimaan tuotannon työnkulkua ja tarvittuja resursseja tilauslähtöisesti [24]. Järjestelmien kehittyminen älykkäämmiksi on vaatinut kehitystä myös laiteohjaukselta, joka on alalle ominaisesti toteutettu ohjelmoitavin logiikoin (PLC, Programmable Logic Controller). Yrityksen tuotekehitys- ja suunnitteluosastolla painotetaan uusiin järjestelmiin tehtävien uudistusten lisäksi myös olemassa olevien ratkaisujen kehitystä. Ajossa olevaan laitekantaan tehdään uudistuksia ja parannuksia sekä erinäisten modernisaatioprojektien että huoltopalvelutoimintana asennettavien päivitysten muodossa.

Tässä luvussa esitellään MLS:n eri osa-alueet ja tärkeimmät komponentit sekä perehdytään pintapuolisesti sen ohjaukseen. Järjestelmän toiminnan tietynasteinen ymmärtäminen on olennaista työn tuloksia käsiteltäessä. Lisäksi luvun lopussa tarkastellaan yrityksen elinkaaripalveluiden nykytilaa.

3.1 MMS

Yrityksen järjestelmien ylätasen ohjausjärjestelmiä kutsutaan nimellä MMS – Manufacturing Management Software. MMS lanseerattiin ensimmäisen kerran 1999 korvaamaan aiemmat, vanhentuneet ohjelmistot ja se on alusta saakka toiminut Windows-käyttöjärjestelmää käyttävillä tietokoneilla. MMS on versioitu yhdestä viiteen, joskin MMS2:sta ja MMS4:stä on myös kehittyneemmät 2.1 sekä 4.1 versiot. Näillä ei kuitenkaan ole tämän työn kannalta olennaista eroa. MMS5:n jälkeen nimeämiskäytäntöä muutettiin, ja sittemmin on puhuttu yksinkertaisesti MMS:stä tarpeen tullen mainiten sen versionumero. Tällä hetkellä uusia järjestelmiä toimitetaan asiakkaille MMS versiolla 6, minkä lisäksi MMS versio 7 on julkaistu. Windows PC:tä, jolla MMS ja valtaosa muista järjestelmän ohjelmistoista pyörivät, kutsutaan soluohjaimeksi (Cell Controller)

MMS:n eri versiot eroavat luonnollisesti toisistaan merkittävästi kullekin ajalle ominaisen teknologiakehityksen mukaan, minkä lisäksi niissä on myös normaalin tuotekehityksen tuomia muutoksia. Kaikille niille on kuitenkin yhtenäistä, että ne käyttävät jonkinlaista tietokantaa (Oracle / SQL Server) ja keskustelevat laitetason (Beckhoff PLC) kanssa kenttäväylän yli. Kommunikaatorajapintana ylätasen ja laiteohjauksen välillä toimii erillinen, versioriippuvainen laitekohtainen ohjelma, yleensä Windows-palvelu. Monet asiakkaat hyödyntävät tilausten luomisessa oman toiminnanohjausjärjestelmänsä (ERP, Enterprise Resource Planning) rajapintaa, jolloin MMS saa tilaukset suoraan asiakkaan

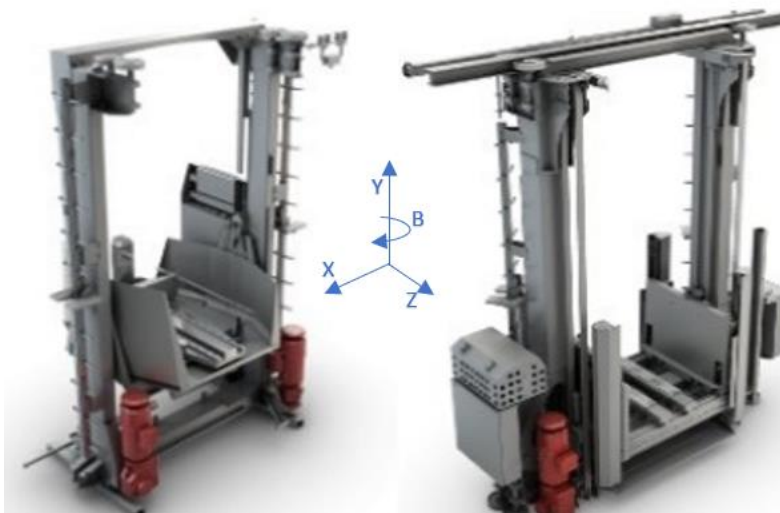
omasta tietojärjestelmästä. MMS ohjaa järjestelmän toimintaa saatavilla olevin resurssein saadakseen nuo tilaukset valmiiksi, jolloin järjestelmässä liikkuvat paletit kulkeutuvat lataus- ja purkuasemille sekä työstökeskuksille ilman erillistä käskyä järjestelmän operaattoreilta.

3.2 Hyllystöhissit

MLS-järjestelmissä käytettävät hyllystöhissit (Stacker Crane) on luokiteltu kuormankantavuuden tai kuormanottimen tyypin perusteella eri ryhmiin. Alla on lueteltu kaikki MLS-tuoteperheen hyllystöhissimallit. Etuliite DMC tulee sanoista Double Mast Crane – ”kaksoismastonosturi”.

- DMC-LD – Light Duty
- DMC-MD – Medium Duty
- DMC-MDR – Medium Duty Rotating
- DMC-XMD – Extra Medium Duty
- DMC-HD – Heavy Duty
- DMC-XHD – Extra Heavy Duty

Tietyt osa-alueet hisseistä ovat yhteneviä eri mallien välillä, mutta luonnollisesti hissien mekaanisissa rakenteissa on eroja jo eri kuormankantokykyjen, jotka vaihtelevat välillä 500 kg – 11 000 kg, vuoksi. Lisäksi saman luokan hissiä voi olla saatavilla pienin eroavaisuuksin, kuten esimerkiksi MD- ja HD-malleja löytyy sekä haarukan levitysakselilla W, että ilman. Kaikissa hissimalleissa on kuitenkin karteesisen koordinaatiston suuntien mukaiset perusakselit: hissien ajokäytävän suuntainen X, pystysuuntainen Y ja käytävän vastainen Z. Lisäksi MDR-hississä (kuva 6) on pyörivä B-akseli. Akseleiden mekaanisissa rakenteissa on paljon eroja, mutta niiden ohjaus ja siihen liittyvät kenttäväylän osat ja taajuusmuuttajat ovat saman ikäluokan mallien välillä enimmäkseen yhteneviä. Suurimmat mallien väliset mekaaniset eroavaisuudet löytyvät kuormankäsittelijästä, mutta yleisin toteutus on myös kuvan 6 DMC-MD:n teleskooppihaarukkarakenne.



Kuva 6 DMC-MDR sekä DMC-MD -hyllystöhissit [23]

3.3 Laitteet

Hyllystöhissin lisäksi MLS-järjestelmään kuuluu useita hissikäytävän ulkopuolisia osajärjestelmiä, joita kutsutaan laitteiksi (Device). Näihin laitteisiin kuuluvat mm. robottisolut, latausasemat, materiaalikuljettimet sekä työstökeskukset. Latausasemissa järjestelmän operaattorit voivat ladata, purkaa, tarkastaa ja puhdistaa kappaleita. Materiaaliaseman tarkoitus on yleensä tuoda operaattoreille ladattavaksi järjestelmän sisällä säilytettävää raakamateriaalia, mutta monet asiakkaat käyttävät materiaalilavoja myös työkalujen tai muiden tarvikkeiden säilyttämiseen. Robottisolujakin on monia erilaisia, esimerkiksi jäys-teenpoistoon, raakamateriaalin lataamiseen ja kappaleiden viimeistelyyn, ja niitä käsitellään järjestelmän näkökulmasta varsin samantapaisesti kuin työstökeskuksiakin.

Laitteiden kriittisyys tuotannon kannalta riippuu siitä, montako samoihin tehtäviin kykenevää laitetta järjestelmässä on. Mikäli järjestelmässä on esimerkiksi vain yksi latausasema, on sen kriittisyysaste lähes yhtä suuri kuin hyllystöhissin, sillä rikkoutuessaan se pysäyttää, joskin pienellä viiveellä, koko järjestelmän tuotannon. Toisaalta, vaikka latausasemia olisi useita, mikäli järjestelmän tekemä tuotanto on konfiguroitu niin, että vain yhdellä latausasemalla käsitellään tiettyjä tuotteita, voi tuo yksi latausasema vikaantuaan edelleen rampauttaa tuotannon.

MLS:ään soveltuvien laitteiden valikoima on niin laaja, että niihin ei ole tässä työssä erikseen perehdytty. Työssä tehdyssä kriittisyyskartoituksessa laitteet on jaoteltu kolmeen pääryhmään: latausasemat, materiaalikuljettimet ja muut laitteet. Niille kaikille on ominaista, että ne ovat fyysisesti liitettyinä MLS:ään niin, että hyllystöhissi pystyy asettamaan paletin joko suoraan laitteelle tai jonkinlaiselle välipöydälle, joka kuljettaa paletin

laitteen sisään. Kaikilla laitteilla on myös yleensä erillinen kytkentäkaappi, josta löytyvät virransyötön ja laiteohjauksen komponentit sekä mahdollisia akseleita ajavat taajuusmuuttajat. Erityisesti latausasemia on nykyisessäkin tuotevalikoimassa lukuisia erilaisia, kun taas materiaalikuljettimet ovat toimintaperiaatteiltaan keskenään varsin samanlaisia. Kuvassa 7 on havainnollistamisen vuoksi esitelty joitain latausasemia ja materiaalikuljetin. Asemissa joissa ei ole ovea estämässä pääsyä hissikäytävään, on turvallisuus varmistettu valoverholla.



Kuva 7 Latausasematyypit LSM ja LSF, sekä materiaalikuljetin MSC [23]

Työstökeskuksiin ei tässä tutkimuksessa keskitytä lainkaan, sillä yritys ei itse valmista niitä, vaan kyseessä on aina kolmannen osapuolen tuote, jonka kanssa järjestelmä kommunikoi joko jonkinlaisen ohjelmisto- tai I/O-rajapinnan yli. Yrityksellä ei ole työstökeskuksista saatavilla niin paljoa dataa, että siitä voitaisiin päätellä keskuksen tila, vaan työstökeskus lähettää valmistusjärjestelmälle viestejä rajapinnasta riippuen joko suoraan MMS:lle esimerkiksi Ethernetin yli, tai laiteohjauksen (kenttäväylä) kautta. Lisäksi keskuksen huolto on valmistajan tai loppuasiakkaan omissa käsissä. Työstökeskuksiin usein liittyvät rajapintakomponentit, kuten kenttäväylämoduulit tai välipöydät joilla paletti siirretään hyllystöhissiltä työstökeskukselle, ovat kuitenkin yrityksen toimittamina komponentteina mukana työn aikana tehdyssä kriittisyyskartoituksessa ja ne on kirjattu aiemmin mainitun ”muu laite”-ryhmän alle. Laitteiden kriittisyyskartoitus on käyty tarkemmin läpi luvuissa 4 ja 5.

3.4 PLC ja kenttäväylä

Ohjelmoitava logiikka (PLC – Programmable Logic Controller) on teollinen tietokoneohjausjärjestelmä, joka jatkuvasti seuraa siihen kytkettyjen tulojen (Input) tilaa tehden ohjelmointiinsa perustuvia päätöksiä lähtöjen (Output) ohjaamiseen [25]. Lähes koko MMS-kauden ajan yrityksen järjestelmien laitetaso ohjaus on tehty saksalaisen Beckhoffin PLC:llä, jota ohjataan TwinCAT automaatio-ohjelmistolla. TwinCAT on niin kutsuttu Soft PLC (ohjelmisto-PLC) mikä tarkoittaa, että logiikkaa voidaan ajaa suoraan

PC:llä joka simuloi PLC-ympäristöä ilman tarvetta erilliselle PLC-tietokoneelle (Masterille). Vanhempien MMS:ien aikana järjestelmät toteutettiin soluohjaimella ajettulla Soft PLC:llä varustettuina, mutta MMS5:stä alkaen järjestelmissä on ollut Beckhoffin oma, erillinen teollisuus-PC PLC-Masterina sen sijaan, että ohjelma pyörisi suoraan soluohjaimella. Lisäksi joillekin isommille osajärjestelmille, kuten hyllystöhisseille ja itsenäisille robottisoluille, on oma PLC:nsä, kun taas laiteohjaus on sisällytetty järjestelmän PLC:hen. Tällöin logiikan konfigurointi ja ohjelman muutokset tehdään soluohjaimella tai muulla PLC-Masterin kanssa samassa verkossa olevalla tietokoneella, josta ne ladataan PLC:lle ajoon. PLC suorittaa tuota ohjelmaa syklisesti niin kauan kuin se saa virtaa, toimii virheettää, eikä kukaan erikseen pysäytä ohjelman suoritusta. PLC:t on määritelty standardissa IEC 61131.

Kenttäväylät taas ovat teollisuudessa käytettäviä verkkostandardeja ja -protokollia, joilla mahdollistetaan järjestelmän I/O:n hajauttaminen ja ohjaaminen. Kenttäväylän eri Master- (isäntä) ja Slave(renki)-komponenttien viestissä keskenään kenttäväyläprotokollan mukaisesti, voidaan yhdellä kaapelilla lähettää paljon useamman päätelaitteen dataa kuin mitä olisi mahdollista jos kaikki käytössä oleva I/O tulisi PLC-Masterille yksittäisinä johtoina. Yrityksen järjestelmissä käytetään pääosin Profibus- ja EtherCAT-kenttäväylästandardeja, ja lähes kaikki soluohjaimen ulkopuolinen kommunikaatio järjestelmässä on toteutettu kenttäväylätekniikalla. Kenttäväylät on määritelty standardissa IEC 61158.

3.5 Nykyiset datankeruun metodit

Järjestelmistä on tuotteen koko elinkaaren ajan kerätty jonkinlaista toimintaan tai kuntoon perustuvaa tietoa, ja tätä tiedonkeruuta on järjestelmien kehittyessä kehitetty suuressa määrin. Osa tästä tiedosta tulee kentältä kunnossapitohenkilöstön raporttien muodossa, mutta valtaosa on järjestelmän sisäistä tapahtumakirjanpitoa paikalliseen tietokantaan. Etenkin uusimpien sukupolvien järjestelmissä kyse on jo käsittelyn kannalta haasteellisesta informaatiotulvasta, josta voi olla vaikeaa löytää etsittävää sisältöä. Asiaan perehtynyt henkilö esimerkiksi yrityksen teknisessä tuessa pystyy kuitenkin poimaan tästä tulvasta käsillä olevan aiheen kannalta olennaisen sisällön. Tällainen tilanne on esimerkiksi, kun järjestelmän historiatiedoista etsitään käsillä olevan virheilmoituksen aikaisempia esiintymiä, jotta nähtäisiin, onko niiden välillä juurisyyhyn viittaavia yhteisiä tekijöitä.

Käytännössä kaikki odotettavissa olleet tapahtumat kirjataan tapahtumalokiin (event log) josta niitä voidaan tarkastella määritetyn aikajakson verran taaksepäin. Odotettavissa

olleilla tapahtumilla viitataan tässä kaikkiin pieniinkin tapahtumiin, jotka joko aiheutuvat jostain järjestelmään kuuluvasta toiminnosta, tai joita jollain tavalla mitataan tai kuunnellaan. Näihin kuuluvat mm. käyttöliittymistä annetut komennot, kaikki järjestelmän eri laitteiden lähettämät viestit, järjestelmän älykkäämpien komponenttien kuten kenttäväyläkomponenttien ja taajuusmuuttajien ilmoitukset sekä erilaiset palvelutason ilmoitukset järjestelmän tapahtumista.

Yritys onkin viime aikoina enenevässä määrin siirtynyt uudenaikaiseen kerätyn datan käsittelyyn, jossa asiakkaan niin salliessa kaikki järjestelmästä kerättävä data siirretään paikalliselta levyltä yrityksen tietokantaan. Tällöin on tilaongelmien poistuessa mahdollista säilyttää enemmän dataa pidemmältä aikaväliltä, jolloin sen määrä kasvaa niin suureksi, että sitä on mielekästä yrittää analysoida esimerkiksi koneoppimisen tai tekoälyn keinoin. Tämä onkin jo askel kohti kuntoon perustuvaa kunnossapitoa, ja siitä puhutaan tämän työn osalta tarkemmin luvussa 5.

3.5.1 Odometriadatan keruu MLS:ssä

Odometria tarkoittaa matkalaskentaa, mutta tässä työssä sillä viitataan ylipäättään liikkuvien akseleiden tai komponenttien liikkeen laskentaan joko matkana, aikana tai toistoina. Yrityksen järjestelmissä on vuosien varrella käytetty eri tasoista odometriaa, mutta sitä on käytännössä hyödynnetty melko vähän ja kyseessä on enemmänkin ollut työkalu erityisesti hyllystöhissin käyttöasteen arviointiin. Tätä on mitattu esimerkiksi suoritettujen tehtävien määrällä vuorokaudessa keskimäärin.

Odometriadataa alettiin tallentaa ensimmäisen kerran MMS2:ssa, mutta tuolloin kirjattiin vain hissien tehtävien aloitus- ja lopetusajat. Lisäksi MMS2.1:ssä alettiin tallentaa tietoja viimeisimmän kuorman painosta, mutta kumpakaan näistä ei tallenneta pitkäaikaiseen muistiin vaan vain hissipalvelun lokitietoihin. Käytännössä saatavilla on siis aina vain viimeisimmät 30 päivää. MMS3:ssa hissien liikkeitä alettiin seurata tarkemmin, ja tuon ajan MMS:n parametrintyökalun huoltolokista (service log) on mahdollista nähdä hyllystöhissin suorittamien tehtävien lukumäärät, käyttöajat sekä ajetut kilometrit kullekin akselille. MMS4 tai 4.1 eivät tuoneet odometriaan muutosta.

MMS5:ssä ei alkuvaiheessa ollut odometriaa lainkaan yrityksen keskittyessä kehittämään muita osa-alueita, mutta versiosta 3.1.0 alkaen on kirjattu MMS3:a vastaavasti hissien akseleiden tehtävämäärät, ajokilometrit ja -ajat. Lisäksi mukaan on otettu lataus- ja pyöritysliikkeet sekä ovitehtävät (avaus ja sulk). Näistä tiedoista ei

edelleenkään tehdä päätelmiä elinkaaripalveluita ajatellen, mutta tiedot ovat saatavilla. On myös huomioitava, että MMS5 laitekanta on pääsin uudempaa kuin 3.1.0., joten datankeruuta ajatellen tilanne on hyvä. Kerättyä dataa ei kuitenkaan jäsenellä mitenkään, eikä jälkeinpäin ole mahdollista esimerkiksi tehdä kuukausittaista vertailua akseleiden liikemääristä, vaan tietokantaan vain päivitetään tarkasteltavan kohteen kumulatiivinen matka tai suoritusmäärä.

3.6 Elinkaaripalveluiden nykytila yrityksessä

Tällä hetkellä useimpien elinkaaripalveluiden tarjoaminen perustuu tapauksesta riippuen johonkin seuraavista asioista:

- Valmistajan suosittama käyttöikä
- Laskennallinen käyttöikä
- Huolto-ohjelman mukainen ajanjakso
- Asiakkaalla jo ilmennyt tarve

Varaosamyynnin tarkoituksena on tarjota asiakkaalle omaan varastoon sellaisia osia, joiden arvioidaan olevan tuotannon kannalta tärkeimpiä ja varastointikustannuksiltaan maltillisimpia. Tällöin puhutaan varaosapaketeista. Asiakkaille tarjotaan myös ennalta varastoon sellaisia osia, joiden saatavuus tulevaisuudessa voi olla rajoittunut esimerkiksi alkuperäisen valmistajan lopettaessa niiden tuotannon. Vaihtoehtoisesti asiakkaalle voidaan tarjota kyseisten komponenttien korvaavia, uudemman sukupolven vaihtoehtoja, jolloin kyse on yleensä pienestä modernisaatiosta. Lisäksi varaosamyynnin kautta kulkevat rikkoutuneiden/viallisten komponenttien tilalle myytävät osat kaikkiin jo asiakkaalle luovutettuihin järjestelmiin.

Kunnossapitoa eli ns. perinteistä huoltoa tehdään sekä huolto-ohjelman mukaisissa jaksoissa, että tarveperusteisesti. Huolto on parhaimmillaan ennakoivaa, mutta perustuu tällöin kenttähenkilöstön subjektiivisiin havaintoihin tai järjestelmän arvioituun käyttöön tai kulutukseen, joten kyse ei ole kuntoon perustuvasta kunnossapidosta.

Yrityksen tekninen tuki toimii kellon ympäri pääosin tarveperusteisesti. Asiakas tekee tukipyynnön jollain yrityksen tarjoamista kanavista ja teknisen tuen järjestelmätukiasiantuntijat ottavat tukipyynnön vastaan. Teknisen tuen on mahdollista ottaa yrityksen järjestelmiin etäyhteys ja tarkastella järjestelmän tilaa reaaliajassa keskustellen samalla asiakkaan kanssa, poissulkien järjestelmän soluohjaimen vakavat häiriöt jotka estävät

etäyhteyden. Teknisen tuen piirissä tehdään konsultoinnin ja vianetsinnän lisäksi myös järjestelmän uudelleenparametroitintia, asetusmuutoksia ja ohjelmistopäivityksiä. Tilanteen niin vaatiessa asiakkaan luo lähetetään huoltoteknikko. Tällainen tilanne on esimerkiksi silloin, kun tekninen tuki päättää häiriön aiheuttajan olevan komponenttivaurio, jolloin ongelman ratkaisemiseksi on välttämätöntä vaihtaa tilalle toimiva osa.

Pääosa yrityksen tarjoamasta koulutuksesta on tarkoitettu asiakkaille, joilla on uusi, modernisoitu tai laajennettu järjestelmä. Asiakkaat saattavat kuitenkin haluta koulutusta myös esimerkiksi toimintansa kehittämiseen tai uusille työntekijöille. Koulutusta ajatellen tarpeen ennakointi ei ole niin suuressa roolissa kuin muissa elinkaaripalveluissa, mutta kunnonvalvonnan yhteydessä kerättävästä datasta on mahdollista myös päätellä koulutuksen tarve, jolloin palvelua voidaan perustellusti tarjota asiakkaalle. Tämä tulee kyseen esimerkiksi silloin, kun asiakkaan havaitaan käyttävän järjestelmää sen toiminnan kannalta epäedullisesti, tai kun on ilmeistä, että asiakkaan tuottavuutta voitaisiin pelkin prosessimuutoksin parantaa merkittävästi.

4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

Kuten luvussa kaksi on alustettu, jakaantuu työ kolmeen osioon: MLS:n kriittisyyskartoitukseen, kunnonseurannan menetelmien etsintään ja kehitysprojektin tiekarttaan. Näistä tärkein on tavoitteeseen T1 vastaava MLS:n kriittisyyskartointus. Kriittisyyskartoituksen työvälineenä päätettiin käyttää riskianalyysia, jossa arvioitu riski katsotaan olevan järjestelmää käyttävän asiakkaan tuotannon näkökulmasta. Riskejä arvioidessa voidaan käyttää myös muita näkökulmia, kuten ylläpitokustannukset tai henkilöturvallisuus, mutta ne on tässä työssä jätetty ulkopuolelle. Kehitysprojektin pääasiallinen tarkoitus on ennakoivan elinkaaripalvelutoiminnan kautta parantaa järjestelmän käytettävyydestä.

4.1 Riskianalyysin menetelmät

Työssä tehtävän kriittisyyskartoituksena toimivan riskianalyysin pääasiallisena tarkoituksena on priorisoida järjestelmän eri osien ja komponenttien käsittely kehitysprojektin seuraavaa vaihetta varten. Koska MLS:ään kuuluu suuria määriä erilaisia järjestelmän osia tai komponentteja, ei ole järkevää yrittää samanaikaisesti seurata niiden kaikkien tilaa ja kulumista. Täten on selvitettävä näiden osien ja komponenttien järjestelmälle ja asiakkaan tuotannolle olennainen kriittisyysaste. Tällöin voidaan tarkasteltavat kohteet asettaa tärkeysjärjestykseen ja kunnonvalvonnan kehitys aloittaa tärkeimmistä.

Tässä osiossa on kuvattu työn aikana tarkastellut ja käytetyt riskianalyysin ja kriittisyys-tarkastelun menetelmät. Koska ensin koetulla kolmella metodilla ei katsottu saatavan riittävän luotettavia tuloksia joko puutteellisen lähdedatan tai muutoin epätarkan määrittelyn takia, päätettiin luopua olemassa olevan datan käytöstä ja vaihtaa tutkimusmenetelmää kokonaan. Lopulliseksi menetelmäksi valikoitui vika- ja vaikutusanalyysi (FMEA, Failure Modes and Effects Analysis), jonka toteutus käsitellään omassa luvussaan 4.2. Työn tuloksissa luvussa 5 käsitellään myös pääasiassa vika- ja vaikutusanalyysin tuloksia, mutta niitä verrataan joiltain osin muiden menetelmien antamiin tuloksiin.

4.1.1 ABC-analyysi

Yrityksen elinkaaripalveluissa, tarkemmin sanottuna varaosayksikössä, on kehitetty sen tuotteisiin suoraan sovellettava sisäisen ABCD-malli, jossa osien luokittelu perustuu niiden kriittisyyteen asiakkaan tuotannon näkökulmasta. Tässä otetaan huomioon aiemmin

mainittu todennäköisyyden ja seuraamusten tulo; kuinka todennäköistä on, että osa vaurioituu ja kuinka paljon se haittaa järjestelmän toimintaa. Luokittelun perustelut on esitelty taulukossa 3.

Taulukko 3 - Yrityksen varaosaluokittelun ABCD-malli (Fastems Oy Ab)

| Luokka | Määritelmä ja esimerkkejä |
|----------|---|
| A | Kriittiset osat Sähkökomponentit jotka rikkoutuessaan pysäyttävät järjestelmän (kenttäväylämoduulit, valokennot, sähkökaappien sisäiset komponentit). Muoviset tai kuluvat osat, joihin liike aiheuttaa kulumaa (virranotin, ohjainrullat, kriittiset laakerit). |
| B | Kulutus- ja kunnossapidon osat Komponentit joita tarvitaan huollon aikana mutta jotka eivät ole luokan A kriittisyystasolla. Esim. laakerit, jäähdytyspumput, ajopyörät, pyörät, puskurit, jouset, hydrauliset komponentit ym. ovat tässä luokassa. |
| C | Kulutus- ja kunnossapidon osat jotka tuovat varmuutta Komponentit jotka ovat kalliita mutta saattavat kuluu, esimerkiksi vaihdemoottorit ja kokoonpanot joita voidaan korjata yksittäisillä osilla. |
| D | Ei varaosat. Komponentit, jotka eivät ole kuluvia osia kuten suojat, levyt. Lisäksi komponentit jotka ovat niin kalliita, ettei ole taloudellisesti järkevää sisällyttää niitä varaosiin, kuten koko kuormankäsittelijäyksikkö. Luokan D komponentit valmistetaan usein yrityksen omien suunnitelmien |

Tämä ABCD-analyysi on kuitenkin tehty varaosien myynnin ja toimituksen prosessia palvellen varsin karkeasti. Käytännössä kaikki sähköosat on kirjattu luokkaan A, sillä niiden vaurioituminen yleensä lamauttaa vähintäänkin käyttökohteena olevan osajärjestelmän. Tässä ei kuitenkaan luonnollisesti oteta huomioon järjestelmäkohtaisia eroja, kuten sitä, onko järjestelmässä muita laitteita jotka voivat suorittaa vikaantuneen laitteen tehtävät. Tässä työssä tehtävä selvityskin on tehty yleisellä tasolla, joten sähköosien voitaisiin perustellusti olettaa olevan kriittisiä kaikissa MLS-järjestelmissä. Luvussa viisi kerrotaan tarkemmin, kuinka vika- ja vaikutusanalyysin tulokset tukevat tätä ajatusta. Luokka A pitää sisällään myös enemmän kuluvat mekaaniset osat, kuten ohjauspyörät ja virranotimet.

Luokkaan B kuuluvat sellaiset kuluvat mekaaniset osat joita tarkastellaan ja tarpeen mukaan vaihdetaan järjestelmän ennaltaehkäisevässä huollossa mutta eivät täytä luokan A kriittisyystasoa. Tähän lasketaan muut pyörät/rullat kuin luokassa A, laakerit, jouset, hydraulikkakomponentit sekä jäähdytysnestepumput.

Luokka C koostuu kalliimmista osista joiden rikkoutumista ei pidetä todennäköisenä tai jotka voidaan korjata pienemmillä, luokkien A ja B varaosilla. Näitä ovat mm. sähkömoottorit ja vaihteistot ynnä muut kokoonpanot.

Luokan D osat taas ovat muita kuin varaosia tai kuluvia osia, kuten suojapellit, mutta poikkeuksena niihin kuuluvat myös jotkin niin kalliit kokonaisuudet, ettei niitä kannata pitää varaosina. Yksi esimerkki tästä on hyllystöhissin valmis teleskooppihaarukka, joita vaihdetaan ennalta-arvaamattomasti äärimmäisen harvoin ja joita yleensä korjataan vaihtamalla kokoonpanosta jokin pienempi osa, jolle on luultavasti oma luokkansa. Haarukat eivät kuitenkaan hintansa vuoksi ole luokassa C.

Tämä yrityksen sisäinen ABCD-luokittelu ei kuitenkaan ole varsinainen Pareto-ja-kaumaan pohjautuva ABCD-analyysi, vaan se perustuu yleistykseen ja elinkaaripalveluiden työntekijöiden asiantuntemuksella tehtyihin arvioihin varsinaisen Pareton periaatteen sijaan. Lisäksi, kuten todettua, on luokittelu tehty melko karkealla tasolla.

Työn aikana pohdittiin myös mahdollisuutta tehdä uusi, MLS:n kriittisyyskartoitukseen erityisesti suunniteltu, työryhmäperusteinen ABC-/ABCD-analyysi. Tuo analyysi olisi toteutettu hyvin samalla tapaa kuin vika- ja vaikutusanalyysi lopulta toteutettiin, mutta pelkän ABCD-luokittelun katsottiin jäävän tulosten käytettävyyden kannalta varsin heikoksi ottaen huomioon asiantuntijatyöryhmätyöskentelyn vaatiman suuren työmäärän. Vika- ja vaikutusanalyysissä saatiin ns. sivutuotteena paljon muutakin kuin komponenttien keskinäinen kriittisyysjärjestys, minkä lisäksi sen tulostaulukkoa on helppo jäsenellä tarkasteltavan suureen mukaan. Hieman yksinkertaistaen voidaan sanoa, että ABCD-analyysissä komponentit olisi vain jaettu eri kriittisyysryhmiin.

4.1.2 Varaosamyyntiin perustuva kulutusanalyysi

Koska varaosaosaston käyttämää ABCD-luokittelua ei suoraan voitu sen sisältämien laajojen olettamien vuoksi hyödyntää työssä, päätettiin tutkimusta jatkaa analysoimalla yrityksen varaosamyyntiä myyntimäärittäin. Yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä kopioitiin yhteistyössä varaosaosaston päällikön kanssa kaikki ne myynnin tapahtumat, joiden voitiin katsoa liittyvän varaosatoimituksiin projektitoimitusten sijaan. Näihin kuuluivat myös kaikki takuuna lähetetyt osat ja valitettavasti erikseen tarjotut varaosapaketit. Viimeksi mainitut osaltaan laskivat tulosten käytettävyyttä varsin paljon, sillä niiden osalta ei mitenkään voida sanoa, mikä osuus on lopulta asennettu vaurioituneen komponentin tilalle ja mikä osuus on edelleen asiakkaalla hyllyssä. Tämän varaosapaketteina myydyin

osuuden suuruuden voitiin kuitenkin arvioida olevan n. 10% kaikesta ei-projekteihin kuuluvasta varaosamyynnistä.

Varaosamyynnin myyntitapahtumat vietiin taulukkomuotoisena toiminnanohjausjärjestelmän tietokannasta MS Exceliin paremman käsiteltävyyden saavuttamiseksi. Jo alkuvaiheessa kävi selväksi, että ainoa järkevä tapa ryhmitellä eri komponentit luokkiin oli käyttää jo olemassa olevaa luokittelujärjestelmää, niin kutsuttua tuoteluokkaa (Product Class) tai nimikeryhmää (IG, Item Group) jotka molemmat viittaavat samaan asiaan. Tuoteluokan käyttö ryhmittelyssä nähtiin merkittävästi paremmaksi toimintamalliksi kuin esimerkiksi tuotenimikkeen (Item Name) käyttö, sillä sama tai saman tyyppinen komponentti on saattanut vuosien varrella olla tietokannassa monella eri nimikkeellä, mutta oikein syötettynä kuitenkin saman tuoteluokan alla. Luvussa 5.2.1. taulukossa 11 on esitetty tämän tutkimuksen tulokset eri tuoteluokkien osuudesta varaosamyynnissä tuoteluokkien kuvaavat nimet piilotettuina. Tuoteluokkia on tietokannassa niiden lisäksi enemmän, mutta joidenkin nähtiin olevan tutkimuksen kannalta turhia, tai niiden käytön olleen epävarmaa. Otannan suuruudeksi määriteltiin n. 10 vuotta: vuoden 2008 ensimmäisestä päivästä tutkimuksen aloitusvaiheeseen lokakuussa 2018, mikä osittain johtui tuoteluokkien nykyisen mallin mukaisen käytön alkamisesta hieman tuota ennen.

Myyntitapahtumista tulostettuja rivejä jouduttiin käsittelemään mielekkäiden tulosten saamiseksi melko paljon. Monet tuoteluokat olivat varsin pieniä eivätkä siten mielekkäitä tarkasteltavia, mutta niistä osa pystyttiin ryhmittelemään tehokkaasti jonkun ns. yläluokan (Parent Class) alle. Esimerkiksi kaiken tyyppiset laakerit (kuula-, rulla-, ja lineaari-laakerit sekä laakeritarvikkeet on käsitelty yläluokan ”laakerit”-alla (Bearings). Lisäksi joitain tuoteluokkia laitettiin tuloksia esitettäessä yhteen niin, että otsikko kertoo luvuissa mukana olevat tuoteluokat. Tällainen yhdistäminen tehtiin esimerkiksi hammaspyörien, hammaskehien ja hammasrattaiden kohdalla. Toisaalta jotkin komponentit, kuten eri anturityypit, on käsitelty erikseen sen sijaan, että ne olisi listattu yläluokan ”anturit ja enkooderit”- alla (Sensors and Encoders), sillä erityyppisten anturien ilmeneminen tuloksissa haluttiin saada esiin. Tämä oli järkevää myös siksi, että erilaiset anturit voivat olla rakenteeltaan hyvinkin erilaisia. Esimerkiksi paikka-antureita ja erilaisia rajakytkimiä ei kannattanut käsitellä yhdessä, sillä ne ovat komponentteina sekä mekaanisesti että ohjauksel-

lisesti täysin erilaisia. Myyntitapahtumista koostettiin lopulta taulukko, josta oli komponenttien tuoteluokittain nähtävissä vuosittaiset myyntimäärät ja luokan osuus kyseisen vuoden kokonaismyynnistä.

Tutkimusta vietiin tällä menetelmällä varsin pitkälle ja se johtikin eräänlaisiin, osaltaan varsin mielenkiintoisiin tuloksiin. Nämä tulokset on esitelty luvussa 5. Tulosten luotettavuutta arvioitaessa kävi kuitenkin nopeasti selväksi, että lähdedatan sekavuus ja epäluotettavuus vaikuttivat tuloksiin erittäin negatiivisesti. Merkittävistä ongelmakohdista mainittakoon esimerkiksi epäselvät tuoteluokat, kuten ”toissijaiset komponentit” (Ancillary Components) ja ”robotit ja niiden osat” (Robots and their parts), jotka molemmat muodostivat merkittävän osan myynnistä mutta sisälsivät hyvin erilaisia komponentteja, sekä myyntimäärien ja järjestelmissä käytettyjen komponenttimäärien vertaamisen mahdollisuus. Epäselvien tuoteluokkien jäsentämiseen ei olisi ollut muuta keinoa, kuin käydä jokainen myyntirivi käsin läpi tarpeen tullen komponentin tuoteluokkaa vaihtaen. Koska kyseisiä rivejä oli tuhansia, ei tätä menetelmän muut ongelmat huomioon ottaen nähty mielekkääksi tehtäväksi.

Tutkimusmenetelmän vaihtoon johtaneita syitä oli lopulta toinenkin: kävi ilmi, että myynti- ja käyttömäärien vertaaminen laitekannan todelliseen komponenttimäärään ei ollut mahdollista. Haasteena oli, että vaikka tuloksista nähtiin esimerkiksi tuoteluokkaa A myydyn kaksi kertaa enemmän kuin tuoteluokkaa B, ei näitä lukemia voitu luotettavasti verrata siihen, kuinka monta tuoteluokkien A ja B edustajaa laitekannassa todellisuudessa on käytössä, eli mikä olisi komponentin laskennallinen vikaantumisprosentti. Ongelma korostui eritoten MLS:ssä, sillä järjestelmätyyppi on erittäin kustomoitava ja laitekannan hajonta on suurta. Esimerkinomaisesti mainittakoon, että pienessä, kahden ajoliikkeitönmän ja käsipyöryksellisen latausaseman ja kahden rinnakkaisvaihtajallisen työstökoneen MLS-MD -järjestelmässä on oletettavasti 5-7 oikosulkumootoria, 4-6 kenttäväylään kuuluvaa renkimoduulia ja yksi virranotin. Keskisuudessa MLS-MDR:ssä, jossa on kolme ajoliikkeellistä ja sähköisesti pyörittävää latausasemaa, kaksi kuljetinta ja kahdeksan välipöydällistä työstökoneetta, taas on arviolta 24 oikosulkumootoria, 20 kenttäväylän renkimoduulia mutta yhä vain yksi virranotin. Täten, koska yleispätevää komponenttia per järjestelmä -lukumäärää ei voitu määrittää, ei myyntimääristä voitu mitenkään johtaa tuoteluokakohtaista hajoamisastetta. MLS:n sisäisen hajonnan lisäksi myyntiriveissä ovat luonnollisesti mukana myös muut järjestelmätyypit, sillä yksittäinen myyntirivi on jäljitettävissä vain asiakkaaseen, ei yksittäiseen järjestelmään. Menetelmän varjopuoleksi laskettakoon lisäksi myös se, että tutkimus olisi onnistuessaankin kertonut vain

komponenttien suhteellisesta vikaantumisherkkyydestä, joten niiden varsinainen kriittisyys järjestelmän toiminnalle olisi jouduttu määrittelemään erikseen.

Tämän menetelmän tulokset on sen ongelmista huolimatta jäsennelty yksinkertaistettuun muotoon ja ne ovat nähtävillä luvussa 5.2.1 (taulukko 11). Luvussa 5.2.1 on myös pohdittu korrelaatiota vika- ja vaikutusanalyysin tuloksiin, ja niissä onkin havaittavissa selviä samankaltaisuuksia. Esimerkiksi kenttäväyläkomponentit esiintyvät tuloksissa melko vaurioalttiina, ottamatta huomioon niiden suhteellista lukumäärää keskiverrossa tarkastelun kohteena olleessa järjestelmässä.

4.1.3 Teknisen tuen raportointi

Yrityksen tekninen tuki (ent. Teleservice, nykyisin Global Technical Support), saa vuosittain noin kaksi tuhatta sisäistä tai ulkoista työpyyntöä, jotka liittyvät asiakkaille luovutettujen järjestelmien ongelmatilanteisiin, päivityksiin tai muihin elinkaaripalveluihin laskettaviin etäyhteyden (Remote Connection) yli suoritettavissa oleviin tehtäviin. Nämä työpyynnöt raportoidaan kunkin tukihenkilön toimesta yrityksen sisäiseen järjestelmään, josta raportti siirtyy laskutuksen kautta myös asiakkaalle. Aiemmin raportit kirjattiin Lean Systemin (yrityksen käyttämä, ohjelmistoyhtiö Roima Intelligencen luoma ERP eli toiminnanohjausjärjestelmä) Leanweb-käyttöliittymän kautta, jolloin työn kaikki sisällöllinen tieto oli vapaamuotoisessa tekstikentässä. Tämä oli tietojen massakäsittelyn ja suodattamisen kannalta haasteellista, sillä raportteja ei voitu luokitella suoraan muutoin kuin avainsanojen avulla tai käsin läpi käymällä.

Vuonna 2017 teknisen tuen raportointi eriytettiin kuitenkin ohjelmistoyhtiö Atlassianin tehtävienhallintaohjelma JIRA:an pohjautuvaan Service Desk -ympäristöön. Raportointi uudessa ympäristössä oli edelleen tekstimuotoista, mutta nyt työpyynnöille määriteltiin pudotusvalikkotyyllisesti alkuvaiheessa myös vakavuusaste (priority) ja lopussa ongel-

maryhmä (Issue Category). Näin työpyyntöjen ryhmittely, järjestäminen ja vieminen esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmaan helpottui huomattavasti. Aiemmin raportit olisi ollut välttämätöntä lukea ihmistyönä läpi ja määrittää niille vastaavat ominaisuudet käsin.

Service Deskin työpyynnöille määritettävät vakavuusasteet ovat:

- Blocker
- Critical
- Major
- Medium
- Minor
- Trivial

Blocker-luokkaan määritellään pääasiassa vain työpyynnöt, joissa asiakkaan järjestelmän tuotanto on pysähtynyt tai käytännössä niin estynyt, että tilanne on sietämätön. Satunnaisesti tätä luokkaa käytetään myös nostamaan poikkeuksellisia työpyyntöjä ns. jonon ohi, mutta tätä tapahtuu verrattain vähän. Critical-luokiteltu työ on taas silloin, kun tuotanto on vakavasti häiriintynyt mutta kuitenkin mahdollista. Major viittaa ylipäätään vakaviin, mutta ei kuitenkaan tuotantoa estäviin, ongelmiin, kuten vaikkapa tilanteeseen, jossa järjestelmässä on kaksi latausasemaa mutta toinen ei toimi lainkaan. On mahdollista, että järjestelmän kapasiteetti on tällöin merkittävästi heikentynyt, mutta tuotanto ei kuitenkaan ole pysähtynyt. Medium taas viittaa yleensä tuotantoa haittaaviin pienempiin ongelmatilanteisiin, kuten satunnaisiin virheisiin jotka järjestelmän operaattorit kuitenkin pystyvät itsenäisesti kuittaamaan. Minor ja Trivial-luokkia käytetään pääasiassa kiireettömiin päivityksiin, varmuuskopioiden tekoon sekä muihin ei-tuotantokriittisiin työpyyntöihin.

Ongelmaryhmät, siten kuin ne Service Deskissä on määritelty, on lueteltu liitteessä C. Alaluokka "Not defined" tarkoittaa, että alaluokkaa ei ole määritelty vaan työpyynnön on luokiteltu yleisesti olevan ylätasoinen sisäinen. Joskus tarkempaa luokkaa ei myöskään ole voitu määritellä, jolloin työlle on jätetty pelkkä yläluokka. Luokka "Not determined" taas viittaa siihen, ettei yhtä ainoaa juurisyytä ole tutkinnan aikana löydetty mutta tilanne on kuitenkin saatu ratkaistua.

Näiden ongelmaluokkien käyttö ei kuitenkaan suoraan sellaisenaan tarjonnut mahdollisuuksia tehdä mielekästä riskikartoitusta, sillä luokkien jaottelu on tehty työkalun käyttönoton alkuvaiheessa nopeasti, jolloin tavoitteena on ollut vain saada edes jonkinlaista

tilastoitavaa ja luokiteltavaa dataa työpyynnöistä. Esimerkiksi Mechanical – Crane -alaluokka pitää sisällään paljon komponentteja ja laitteen sisäisiä osajärjestelmiä, joiden niputtaminen yhteen ryhmään ei edistä kehitysprojektin tarkastelukohteiden määrittelyä mielekkäällä tarkkuudella. Lisäksi teknisen tuen työntekijöiden mielipide-erot siitä, mihin luokkaan rajatapaukset tulisi laittaa, heikentävät tämän datan suoraa käytettävyyttä. Tämän luokittelun tarkkuutta on tarkoitus kehittää, mutta sitä ei tämän tutkimuksen aikana tehty, eivätkä muutoksen jälkeiset tulokset muutoinkaan olisi olleet vertailukelpoisia. Työpyyntöjä on kuitenkin tehty Service Deskin käyttöönoton (4.7.2017) ja tätä työtä varaten tehdyn otannan (1.10.2018) välillä 1730 kappaletta, joten käytettävissä olevan datan määrä on melko suuri. Luku eroaa aiemmin mainitusta vuosittaisesta kahdestatuhannesta siksi, että Service Deskin käytön alkuvaiheessa sitä ei vielä käytetty kaikkiin tukipyyntöihin. Sittemmin on nähty vuosittaisen keskiarvon asettuneen noin kahteentuhanteen työhön vuodessa, mutta määrässä on laitekannan vahvistuttua ollut havaittavissa hienoista kasvua. Kerätyn datan määrästä ja käytössä olleesta vakavuus- ja ongelmaluokittelujärjestelmästä johtuen päätettiin Service Deskin raporttien kuitenkin olevan saatavilla olevista valmiista datanlähteistä käytettävyydeltään suurin.

Luvussa 5.2.2. (taulukko 12) on esitetty edellä mainitun aikavälin työpyynnöt taulukkomuodossa niin, että nähtävissä on eri vakavuusasteiden ja ongelmaluokkien keskinäinen jakautuminen. Tässä taulukossa ovat esillä pelkästään komponenttivikaan viittanneet työpyynnöt, sillä niiden tarkastelu nähtiin työn tavoitteiden kannalta mielekkäämmäksi kuin esimerkiksi käyttäjävirheiden. Kaikista teknisen tuen raportoinnin analyysissä käytetyistä taulukosta on myös poistettu luokat Minor ja Trivial kokonaan, sillä niillä luokituissa työpyynnöissä ei yleensä ole ollut kyse järjestelmähäiriöstä. Lisäksi joitain tutkimuksen kannalta yhtäläisiä ongelmaluokkia on tulosten luettavuuden parantamiseksi ja taulukon koon rajoittamiseksi yhdistetty toisiinsa. Esimerkkinä tästä mainittakoon HW/Electricin alaluokat "Faulty fieldbus module" ja "Faulty Beckhoff module". Käytännössä kaikki Beckhoff-moduulit järjestelmissä ovat kenttäväylämoduuleja, ja tuo toinen luokka on olemassa vain niiden harvojen ei-Beckhoff-moduulien, kuten datavalokennojen ja vanhojen Siemens S5-komponenttien, kirjaamisen mahdollistamiseksi. Tässä työssä olennaista on kuitenkin enemmän se, että kyse on ylipäättään ollut kenttäväylämoduulista. Luvussa 5 on verrattu tämän selvityksen tuloksia lopullisen tutkimusmenetelmän vika- ja vaikutusanalyysin tuloksiin.

4.2 Vika- ja vaikutusanalyysi

Kuten luvun alussa on todettu, ei aiemmalla kolmella metodilla katsottu saatavan riittävän luotettavia tuloksia joko puutteellisen lähdedatan tai muutoin epätarkan määrittelyn takia. Vika- ja vaikutusanalyysin hyviin puoliin kuuluu oikein toteutettuna sen korkea luotettavuusaste: tutkimukseen valituilla työryhmän jäsenillä oli kaikilla useiden vuosien kokemus yrityksen omista tuotteista ja niiden kehityksestä sekä toiminnasta asiakaskentällä. Lisäksi vika- ja vaikutusanalyysi on hyvin kustamoitavissa ja sitä voidaan soveltaa tarkoitukseen soveltuvalla tavalla. D.H. Stamatis kirjoittaakin kirjassaan vika- ja vaikutusanalyysin olevan joukkue tehtävä, jota tekemään valittava ryhmä ei voi olla luonteeltaan yleispätevä, vaan se tulee valita kyseessä olevaan tutkimukseen erikseen. Tutkimuksen suorittamiseen vaadittava tietämys on ainutlaatuista tutkimuksen kohteelle, joten ryhmän tulee koostua monialaisista osajista joilla tätä tietoa on [18].

Tässä luvussa on esitelty vika- ja vaikutusanalyysin toteutus tässä työssä. Kuten menetelmälle on ominaista, on työryhmän toimintamalli ja tuotoksena täytetty taulukko mukautettu käsiteltävän kohteen (MLS) ja työryhmän itsensä kannalta mielekkääksi. Työn aikana on kuitenkin pyritty toimimaan mahdollisimman tarkkaan vika- ja vaikutusanalyysin perusperiaatteiden mukaisesti. Varsinaista pohjaa yritykseltä ei löytynyt, sillä vika- ja vaikutusanalyysijä on aiemmin tehty vain erityistapauksissa tiettyihin suuriin asiakasprojekteihin, ja tuolloinkin analyysin malli on aina tehty erityisesti kohteena ollutta järjestelmää silmälläpitäen. Tästä syystä taulukko on luotu allekirjoittaneen toimesta yhteistyössä analyysin tehneen työryhmän kanssa. Karkea rakenne, josta taulukkoa on alettu työn alussa muokkaamaan, on luotu American Society for Qualityn verkkosivuilta löytyneestä esimerkistä [19].

Tässä työssä tehdyn vika- ja vaikutusanalyysin viisihenkisenä työryhmänä toimivat allekirjoittaneen, joka on toiminut yrityksessä sekä huoltoinsinöörinä että järjestelmätukiasiantuntijana, lisäksi yrityksen tekniset tuotepäälliköt mekaniikka- sähkö- ja ohjaussuunnittelusta sekä yrityksen Suomen aluehuoltopäällikkö. Vika- ja vaikutusanalyysi tehtiin kokonaisuudessaan työryhmän yhteisellä panoksella, eikä esimerkiksi Stamatiksen kuvaamaan virheeseen [18], jossa osa analyysistä valmistellaan etukäteen ja työryhmä käy kyseisen osion myöhemmin läpi, sorruttu. Joitain poikkeuksia tosin nähtiin: mikäli esimerkiksi sähkökomponentteja oltiin pakon edessä käsitelty ilman sähkösuunnittelusta vastaavan tuotepäällikön läsnäoloa, käytiin nuo kohteet hänen kanssaan läpi ennen seuraavaa tapaamista ja niihin palattiin muun työryhmän läsnä ollessa mikäli muutoksia oli tehty.

Alla on karkeasti selitetty vika- ja vaikutusanalyysin taulukon rakenne ja muodostuminen. Analyysiin mukaan otetut komponentit on ennen analyysiä koostettu työryhmän konsensuksella, ja niihin kuuluvat yleisellä tasolla käytännössä kaikki MLS:n komponentit, jotka eivät ole rakenteellisia (palkit, levyt, ruuvit, mutterit yms.) tai jo pitkään käytöstä poistettuja ja siten laitekannassa harvinaisia, kuten vanhentuneiden väylätekniikoiden komponentit.

Komponentit on jaettu kolmeen luokkaan: mekaaniset komponentit, sähköiset komponentit ja kenttäväyläkomponentit. Tämän lisäksi komponenteille on merkitty laite, jossa komponentti järjestelmässä esiintyy. Nämä laitteet ovat hyllystöhissi, järjestelmä, latausasema, kuljetin sekä muu laite. Selvennetäköön, että tässä analyysissä järjestelmä laitteena tarkoittaa käytännössä kaikkia muihin laitteisiin kuulumattomia järjestelmän osia, kuten järjestelmän pääsähkökaappia ja hissikäytävän ovia instrumentointineen. Muu laite taas viittaa esim. työstökeskusten, pesukoneiden ja robottisolujen fyysiseen ja ohjaukselliseen rajapintaan liittyviin komponentteihin. Analyysitaulukossa on jokaiselle komponentille rivi jokaista laitetta, jossa se esiintyy, kohden, ja komponentin vikaantumista on arvioitu aina kyseisen laitteen sovellutuksen mukaan, ei kaikkiin esiintymiin samanaikaisesti. Näin taulukko on mahdollista jäsenellä myös esimerkiksi laitteen tai komponenttiluokan sisäisesti, jolloin voidaan vaikkapa tarkastella erikseen latausosien kriittisimpiä mekaanisia komponentteja.

Komponentille on määritelty sille tyypilliset tai mahdolliset vikaantumisen muodot ja niille mahdollinen syy tai aiheuttaja. Tämän jälkeen on arvioitu vikaantumisen vaikutusta tuotantoon joko tuotantopysähdyksen tai käytettävyyshaitan muodossa. Vakavuusarvo taulukkoon on laskettu suoraan tuotantopysähdyksen ja haitan kuvausten mukaan työryhmän luoman muuntotaulukon pohjalta, ja se on määritelty desimaalilukuna välillä 1-10. Normaalisti vika- ja vaikutusanalyysissä käytetään helppokäyttöisyyden vuoksi kokonaislukuja, mutta tässä arvo päätettiin jättää desimaaliluvuksi sen ollessa toteutustavastaan johtuen laskennallinen. Lisäksi pyöristäminen olisi vaikuttanut tulosten tarkkuuteen negatiivisesti.

Yleisyys on komponenttikohtaisesti määritelty niin, että työryhmä loi taulukossa 4 näkyvän, sanallisesti selitetyn ohjearvotaulukon asteikolle 1-10, ja kukin työryhmän jäsenistä täytti sarakkeen itsenäisesti. Tulokset koostettiin, ja mikäli työryhmän komponentille antamien arvojen suurimman ja pienimmän arvon erotus oli enintään viisi, hyväksyttiin yleisyyden arvoksi näiden arvojen keskiarvo. Ne komponentit, joissa vastausten hajonta oli

suurempi kuin viisi, käytiin työryhmän kesken erillisessä tapaamisessa keskustellen läpi, kunnes saatiin ryhmää tyydyttävä lopputulos. Käytännössä näissä suuremman hajonnan tapauksissa kyse oli usein siitä, että joku työryhmän jäsen on tekemisissä järjestelmän kanssa lähinnä sen elinkaaren alkuvaiheessa, jolloin hänen havaintojensa mukaan tiettyjä ongelmia ei ilmene niin usein kuin niitä järjestelmän vanhetessa ilmenee. Kaikkiin kohteisiin löytyi kuitenkin tapauskohtaisesti käsittelemällä yleisen hyväksynnän saanut arvo.

Taulukko 4 Yleisyyden arvottamisen ohjetaulukko

| Tarkasteluajanjakso 5 vuotta | |
|------------------------------|--|
| Arvo | Kuvaus |
| 10 | Tunnettu ongelma |
| 9 | Virhetilanne yleinen (tapahtunut tässä tarkastelukohteessa usein) |
| 8 | Virhetilanne yleinen (tapahtunut tässä tarkastelukohteessa usein) |
| 7 | Virhetilanne ilmenee satunnaisesti mutta kyse ei ole laajasta ilmiöstä |
| 6 | Virhetilanne ilmenee satunnaisesti mutta kyse ei ole laajasta ilmiöstä |
| 5 | Virhetilanteesta on yksittäisiä havaintoja |
| 4 | Virhetilanteesta on yksittäisiä havaintoja |
| 3 | Virhetilanteesta on vain vähän yksittäisiä havaintoja |
| 2 | Virhetilanteesta on vain vähän yksittäisiä havaintoja |
| 1 | Virhetilanteesta ei tunnettuja tapauksia, erittäin epätodennäköinen |

Havaittavuuden arvoa sovellettiin tässä työssä erityisen paljon, sillä analyysi ei luonteeltaan ollut sellainen kun havaittavuutta mietittäessä usein on ajateltu. Havaittavuus perinteisessä muodossaan ottaa kantaa siihen, kuinka hyvin ongelmatilanne havaitaan sen jo tapahtuttua mutta ennen kuin se vaikuttaa asiakkaaseen. Kohdejärjestelmässä ei kuitenkaan ole tämänkaltaista havainnointimekanismia, joten havaittavuutta haluttiin käsitellä nykytilaa muutoin arvioiden sekä tilanteen parantamista ajatellen. Alla on lueteltu analyysissä käytetyt neljä havaittavuuden arvoa.

- D-ennustava(nykyinen) – tämä sarake täytettiin havainnollistamisen vuoksi, ja arvo on jokaiselle komponentille 5 (ei havaita). Tällä viitattiin siihen, että komponentin vaurioitumista ei nykyisellä seurannalla havaita ennen kuin se haittaa järjestelmän toimintaa ja siten välillisesti asiakkaan tuotantoa.
- D-reagoiva(nykyinen) – kuinka hyvin virheen laatu ja ilmenemisalue havaitaan, tunnistetaan ja kohdennetaan järjestelmissä tällä hetkellä. Tätä pohdittiin siksi, että haluttiin nähdä järjestelmän nykyinen valmius helppoon ja nopeaan diagnostiikkaan niitä kehityskohteita silmälläpitäen, joissa ennustava tilan tarkkailu ei ole

mahdollista. Asteikko on 1(havaitaan tai kohdennetaan hyvin) – 5 (ei havaita lainkaan).

- D-kehitys – elinkaaripalveluiden kehittämistä ajatellen laadittu arvo sen mukaan, kuinka hyväksi työryhmä arvioi kohteen suoran tai epäsuoran kehittämisen mahdollisuudet pyrkimyksenä joko häiriöiden täydellinen ennakointi tai ainakin osittainen poistaminen. Asteikko on 1 (pienellä työmäärällä kehitettävissä) – 5 (ei mielekkäällä työmäärällä kehitettävissä). Tarkemmat sanalliset kuvaukset ottavat kantaa varsinaisen kehitystyön laatuun, ja ovat nähtävissä varsinaisessa analyysitaulukossa.
- D-kehitys(käänteinen) – aiemman D-kehitys -arvon mukainen, mutta arvoiltaan käänteinen. Kirjattu mahdollistamaan taulukon järjestäminen suuren kriittisyyden ja pieneksi arvioidun kehitystyön mukaan. Arvo on merkitty tuloksissa selkeyden vuoksi lyhenteellä Dkk.

Työryhmä on myös kirjannut ylös ehdotelmia ja kommentteja liittyen D-kehitykseen, painottaen järjestelmässä jo olevien komponenttien tai yleisesti tunnettujen vaihtoehtojen ratkaisujen hyödyntämistä. Näitä kirjauksia on mahdollista käyttää pohjana kehitysprojektin alussa.

Työn aikana nousi esiin myös jotain tilanteita, joissa kohteen vikaantuminen tai häiriötilanteen muu ilmeneminen johtuu usein virheellisestä asennuksesta tai puutteellisesta huollosta. Näissä tapauksissa komponentille on kirjattu työryhmän luoma ns. E-lukema (ehkäistävyys), jossa on arvioitu, kuinka vaivatonta kohteen vaurioitumisen ehkäiseminen oikein menetelmin on. Kyseisissä tapauksissa komponentille on kirjattu nämä ehkäisevät toimenpiteet, kuten erityisesti huomioitava asia asennusvaiheessa, oikeanlainen säätö käyttöönotossa tai tärkeä huoltotehtävä. Näihin kirjauksiin voidaan palata myöhemmin yrityksen päivittäessä huolto-ohjeistustaan ja koulutusmateriaaliaan.

Lopuksi vika- ja vaikutusanalyysin taulukkoon on laskettu RPN jokaista erillistä havaitavuuden arvoa kohden sekä kriittisyysarvo. Näin taulukon järjestäminen ja komponenttien jäsentely on tehty mahdollisimman suoraviivaiseksi riippumatta siitä, mitä tuloksia analyysistä halutaan tarkastella.

Taulukossa 5 on kuvakaappaus yksinkertaistetusta näkymästä vika- ja vaikutusanalyysin taulukkoon, missä nyt on esillä 10 kriittisyysarvoltaan suurinta komponenttia laitteelle järjestelmä. Taulukosta on poistettu sarakkeet, joissa on sanallisia kuvauksia ja havainnot vikaantumistavoista ja niiden vaikutuksesta tuotantoon sekä mitä mahdollisia keinoja

työryhmä keksi näiden ongelmien ehkäisemiseksi tai ennalta havaitsemiseksi. Lisäksi komponenttien nimet on salattu. Taulukosta on kuitenkin nähtävissä selkeitä eroja vakaavuudessa, yleisyydessä ja erilaisissa havaittavuuden muodoissa. On myös nähtävissä, että tulokset järjestyisivät eri tavalla mikäli kriteerinä pidettäisiin jotain saaduista RPN-luvuista. Lähes täydellinen esimerkki vika- ja vaikutusanalyysin taulukosta on nähtävissä liitteessä A. Tuosta versiosta on salattu pelkästään komponenttien nimet sekä poistettu työryhmän antamat kehitysehdotukset ennustavaa kunnossapitoa tai parempaa diagnostiikkaa varten.

Taulukko 5 MLS:n järjestelmälaitteen 10 kriittisintä komponenttia

| Komponentti salattu | Komponenttiryhmä (Mekaniikka / Sähkö / Kenttäväylä) | Laite | S (1-10) | O (1-10) | D ennustava /ennakoiva (nykyinen) | D reagoiva | D kehitys | D kehitys (käännetty) | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (käänteinen) | CRIT S*O |
|---------------------|---|-------------|----------|----------|-----------------------------------|------------|-----------|-----------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------|----------|
| A | Kenttäväylä | Järjestelmä | 9 | 8 | 5 | 2 | 4 | 2 | 144 | 288 | 144 | 72 |
| B | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| G | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 5 | 5 | 5 | 4 | 2 | 250 | 200 | 100 | 50 |
| J | Sähkö | Järjestelmä | 6,75 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 121,5 | 162 | 81 | 40,5 |
| L | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 120 | 120 | 120 | 40 |
| W | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 90 | 90 | 90 | 30 |
| Q | Sähkö | Järjestelmä | 6,75 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 81 | 81 | 81 | 27 |
| AJ | Sähkö | Järjestelmä | 6,75 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 | 40,5 | 60,75 | 60,75 | 20,25 |
| U | Sähkö | Järjestelmä | 3,5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 4 | 56 | 28 | 56 | 14 |

5. TULOKSET

Tässä luvussa käydään läpi ja esitellään työn tuloksia sekä pohditaan niiden merkitystä yrityksen kehitysprojektin kannalta. Lisäksi luvussa käydään läpi joitain työn aikana esille nostettuja ennustavan kunnossapidon tilatarkkailun keinoja, joista saattaa olla hyötyä kehitysprojektin jatkuessa. Lisäksi tulosten luotettavuutta ja käytettävyyttä kehitysprojektin hyväksi on arvioitu.

5.1 Vika- ja vaikutusanalyysi

Kuten luvussa neljä on esitelty, on vika- ja vaikutusanalyysi tässä työssä tehty sille ominaiseen tapaan vahvasti käyttökohdetta ajatellen ja soveltaen. Tämä näkyy vakavuuden ja tuotantokriittisyyden sulautumisen lisäksi erityisesti useiden eri havaittavuusarvojen muodossa. Halutun komponenttiryhmän voi täten järjestää usealla eri tavalla käyttötarcoitusta mukaillen, ja työn jatkona toimivalle kehitysprojektille lieneekin olennaista nähdä komponentit järjestettynä myös niiden kehityspotentiaalin Dkk mukaan. Tässä luvussa on nostettu esiin joitain vika- ja vaikutusanalyysin tuloksia, pääasiassa eri kriteerein saatuja ”kymmenen kärkiä” analyysitaulukosta. Taulukon komponentit on tietoturvasyistä nimetty uudelleen, ja samasta syystä sekä selkeyden vuoksi erilaiset tarkentavat tekstikentät sekä vikaantumistyytit tuotantovaikutuksineen on poistettu. Vika- ja vaikutusanalyysin pääasiallinen tuote on kuitenkin tämä analyysitaulukko kokonaisuudessaan, ja sen on tarkoitus jäädä työn tilaajalle kuntoon perustuvan kunnossapidon kehitysprojektin ohjenuoraksi sekä myöhempää, parannusten jälkeistä päivittämistä varten.

5.1.1 Kriittiset komponentit

Järjestelmän komponenttien järjestäminen puhtaasti kriittisyyden mukaan tehdään käyttämällä kriteereinä pelkästään vakavuuden ja yleisyyden tulona saatavaa kriittisyysarvoa (CRIT). Tällöin ei oteta kantaa siihen, kuinka ennalta havaittava, helposti diagnosoitava tai potentiaalisesti ennustettava komponentin oletettu vikaantumistapa on. Joissain tapauksissa voi kuitenkin olla mielekkäämpää ensin järjestää kohderyhmä pelkän kriittisyyden mukaan, ja sen jälkeen pyrkiä erottelemaan kriittisimmistä tiettyjä kriteerejä täyttäviä kohteita. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi ne, joissa vika- ja vaikutusanalyysin suorittanut työryhmä on nähnyt potentiaalisesti kehitysmahdollisuudeksi jo pelkän ohjelmistomuutoksen, tai vaihtoehtoisesti voidaan haluta tietää kaikki kohteet joiden kriittisyysarvo ylittää tietyn rajan ja joihin on todettu olevan mahdotonta vaikuttaa mielekkäällä työmäärällä. Tässä luvussa on esitelty tuloksia erityisesti kriittisyyden näkökulmasta.

Taulukko 6 MLS:n 10 kriittisintä komponenttia

| Komponentti | Komponenttiryhmä (Mekaniikka / Sähkö / Kenttäväylä) | Laite | S (1-10) | O (1-10) | D ennustava /ennakoiva (nykyinen) | D reagoiva (1-5) | D kehitys (1-5) | D kehitys (käännetty) (1-5) | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (käänteinen) | CRIT S*O |
|-------------|---|-------------|----------|----------|---|---------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------|
| A | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 8 | 5 | 2 | 4 | 2 | 144 | 288 | 144 | 72 |
| A | Kenttäväylä | Järjestelmä | 9 | 8 | 5 | 2 | 4 | 2 | 144 | 288 | 144 | 72 |
| B | Kenttäväylä | Latausasema | 10 | 7 | 5 | 3 | 3 | 3 | 210 | 210 | 210 | 70 |
| C | Sähkö | Hissi | 6,75 | 9 | 5 | 3 | 4 | 2 | 182,25 | 243 | 121,5 | 60,75 |
| B | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| B | Kenttäväylä | Kuljetin | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| B | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| B | Kenttäväylä | Muu laite | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Latausasema | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |

Taulukkoon 6 on nostettu esiin MLS:n kymmenen kriittisintä komponenttia. Käytännössä listaus muodostuu neljästä yksittäisestä komponentista, sillä mitään pois jätettäessä eri laitteissa esiintyvä kriittinen komponentti nousee listalle useaan kertaan. Mikäli halutaan tarkastella yksittäisten komponenttien kriittisyyttä, tulee listalta poistaa komponenttien toistuvat esiintymät komponentin nimen mukaan. Tämä on kuitenkin eri komponenttien vertailun kannalta luonnollisesti mielekkäämpää, mistä syystä taulukko 7 esittää nuo kriittisimmät komponentit niin, että jokainen komponentti esiintyy taulukossa vain kerran. Mukaan on myös otettu 20 komponenttia kymmenen sijaan, sillä toistuvien esiintymien poiston jälkeen 10 kriittisimmän joukko koostuu pääasiassa hissin komponenteista, mitä tarkastellaan tarkemmin myöhemmin tässä luvussa.

Taulukko 7 MLS:n 20 kriittisintä, yksittäistä komponenttia

| Komponentti salattu | Komponenttiryhmä (Mekaniikka / Sähkö / Kenttäväylä) | Laite | S (1-10) | O (1-10) | D ennustava /ennakoiva (nykyinen) | D reagoiva | D kehitys | D kehitys (käännetty) | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (käänneinen) | CRIT S*O |
|---------------------|---|-------------|----------|----------|-----------------------------------|------------|-----------|-----------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------|----------|
| A | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 8 | 5 | 2 | 4 | 2 | 144 | 288 | 144 | 72 |
| B | Kenttäväylä | Latausasema | 10 | 7 | 5 | 3 | 3 | 3 | 210 | 210 | 210 | 70 |
| C | Sähkö | Hissi | 6,75 | 9 | 5 | 3 | 4 | 2 | 182,25 | 243 | 121,5 | 60,75 |
| D | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| E | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 2 | 4 | 2 | 120 | 240 | 120 | 60 |
| F | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 162 | 216 | 108 | 54 |
| G | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 5 | 5 | 5 | 4 | 2 | 250 | 200 | 100 | 50 |
| H | Sähkö | Hissi | 6,75 | 7 | 5 | 2 | 3 | 3 | 94,5 | 141,75 | 141,75 | 47,25 |
| I | Sähkö | Hissi | 9 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | 135 | 180 | 90 | 45 |
| J | Sähkö | Hissi | 6,75 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 121,5 | 162 | 81 | 40,5 |
| K | Kenttäväylä | Muu laite | 6,75 | 6 | 5 | 4 | 5 | 1 | 162 | 202,5 | 40,5 | 40,5 |
| L | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 120 | 120 | 120 | 40 |
| M | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 120 | 120 | 120 | 40 |
| N | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 4 | 5 | 2 | 4 | 2 | 80 | 160 | 80 | 40 |
| O | Kenttäväylä | Muu laite | 9 | 4 | 5 | 2 | 5 | 1 | 72 | 180 | 36 | 36 |
| P | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 4 | 5 | 2 | 5 | 1 | 72 | 180 | 36 | 36 |
| Q | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 1 | 3 | 3 | 33,75 | 101,25 | 101,25 | 33,75 |
| R | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | 101,25 | 135 | 67,5 | 33,75 |
| S | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | 101,25 | 135 | 67,5 | 33,75 |
| T | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | 101,25 | 135 | 67,5 | 33,75 |

Taulukko 7 sisältää myös enemmän sähkökomponentteja kuin taulukko 6, ja mukana olevien kenttäväyläkomponenttien kirjo on kasvanut. Mainittakoon, että näihin kriittisimpiin komponentteihin kuuluu sähkökomponenteista pääasiassa erilaisia antureita ja turvareleitä, ja kenttäväyläkomponenteista erilaisia kommunikaatiomoduuleja sekä turval/O:n osia. Kuten todettua, valtaosa komponenttien toistuvien esiintymien poiston jälkeen jäljelle jääneistä komponenteista on edelleen merkitty hyllystöhissin alle. Tämä tarkoittaa, että nuo komponentit vikaantuvat useimmin nimenomaan hyllystöhississä, niiden vikaantuminen hyllystöhississä on seurauksiltaan vakavampaa kuin muissa laitteissa, tai niitä ei käytetä lainkaan muissa laitteissa.

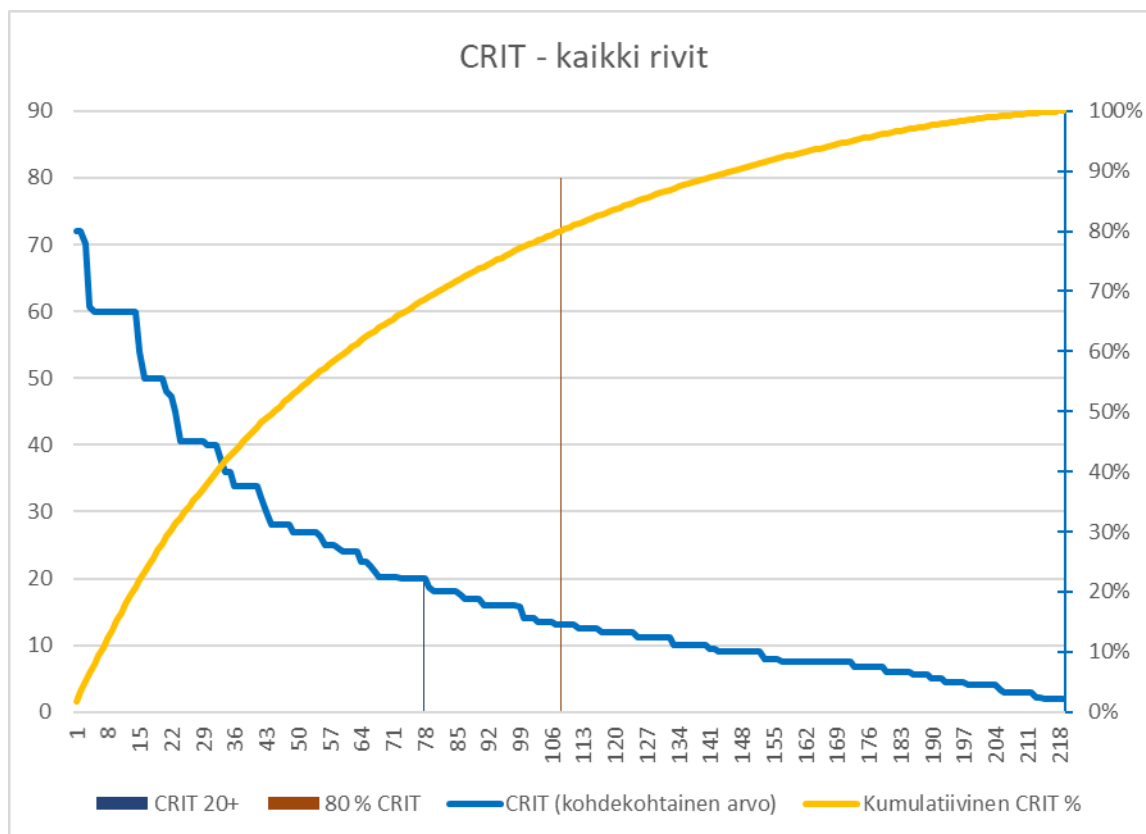
Hyllystöhissin järjestelmän toiminnan kannalta keskeisen roolin johdosta on mielekästä tarkastella tuloksia myös pelkästään hissien osalta. Taulukossa 8 on listattu hyllystöhissin kymmenen kriittisintä komponenttia. Taulukosta on myös hyvin nähtävissä laitteiden välinen ero analyysin tuloksissa: komponentti B on taulukossa 8 arvotettu pienemmän yleisyysarvon johdosta vähemmän kriittiseksi kuin taulukossa 7. Tämä johtuu siitä, että vika- ja vaikutusanalyysin aikana kyseisen komponentin on katsottu vikaantuvan latausasemassa herkemmin kuin hississä, mutta vianvaikutus tuotantoon on ollut sama, mikä joh-

tuu komponentin B roolista turva-I/O-komponenttina. Liitteessä B ovat lisäksi esillä kriittisimmät 10 komponenttia komponenttiryhmittäin, eli kenttäväyläkomponentit, mekaaniset komponentit sekä sähkökomponentit.

Taulukko 8 Hyllystöhissin 10 kriittisintä, yksittäistä komponenttia

| Komponentti salattu | Komponenttiryhmä (Mekaniikka / Sähkö / Kenttäväylä) | Laite | S (1-10) | O (1-10) | Dennustava /ennakoiva (nykyinen) | D reagoiva | D kehitys | D kehitys (käännetty) | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (käänteinen) | CRIT S*O |
|------------------------|---|-------|----------|----------|--|------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------|
| A | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 8 | 5 | 2 | 4 | 2 | 144 | 288 | 144 | 72 |
| C | Sähkö | Hissi | 6,75 | 9 | 5 | 3 | 4 | 2 | 182,25 | 243 | 121,5 | 60,75 |
| B | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| E | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 2 | 4 | 2 | 120 | 240 | 120 | 60 |
| F | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 162 | 216 | 108 | 54 |
| G | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 5 | 5 | 5 | 4 | 2 | 250 | 200 | 100 | 50 |
| H | Sähkö | Hissi | 6,75 | 7 | 5 | 2 | 3 | 3 | 94,5 | 141,75 | 141,75 | 47,25 |
| I | Sähkö | Hissi | 9 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | 135 | 180 | 90 | 45 |
| J | Sähkö | Hissi | 6,75 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 121,5 | 162 | 81 | 40,5 |

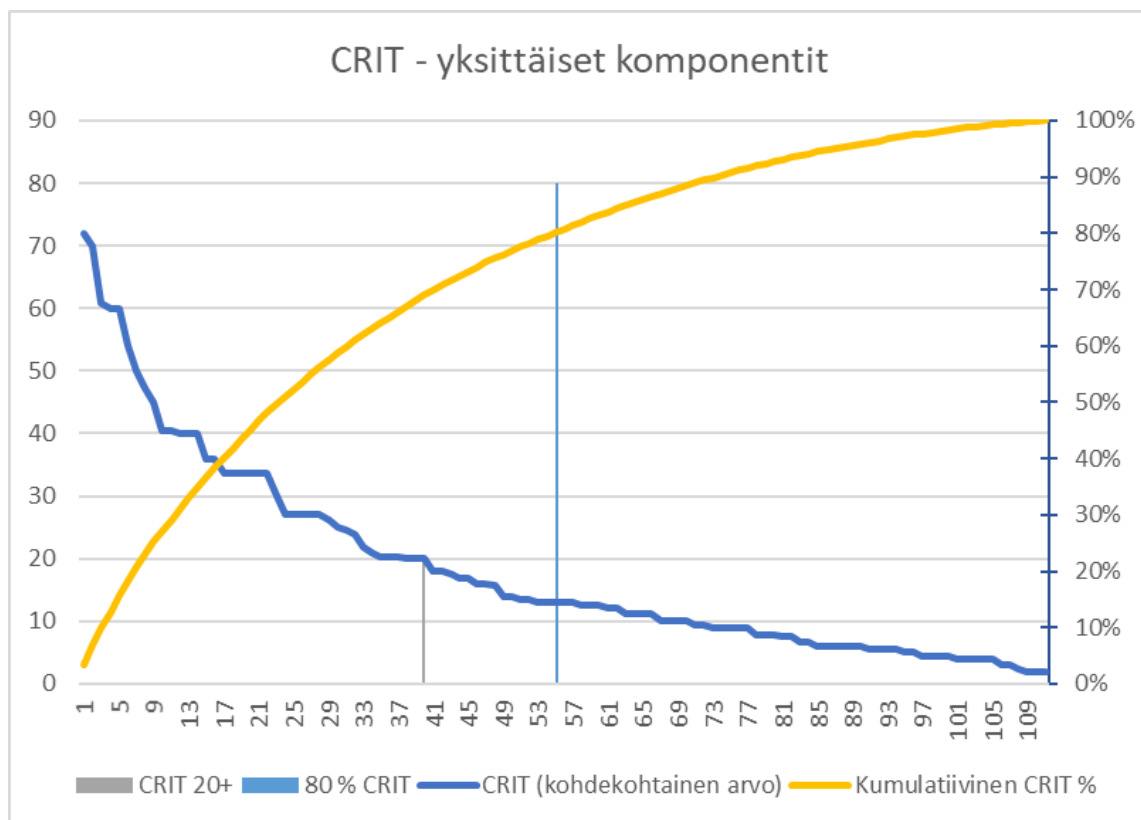
Kuva 8 on muodostettu viemällä samaan kuvaajaan kaikkien vika- ja vaikutusanalyysin komponenttien kriittisyysarvot, sekä toiselle akselille niiden suurimmasta pienimpään laskettu kumulatiivinen kriittisyyden osuus. Kumulatiivinen kriittisyys on laskettu niin sanotusta järjestelmän kokonaiskriittisyydestä, jonka yhteisarvo on 4205,375. Pystyviivat esittävät kahta kehitysprojektin kannalta kiinnostavaa pistettä: Mikäli 78 kriittisimmän komponentin (35,6 %) kriittisyys laskettaisiin ennustavan kunnossapidon toimenpitein alle kahdenkymmenen, olisi järjestelmän suurin kriittisyys 72:n sijaan vain 20. Jos ajatellaan kriittisyyden skaalaa 1-72, muodostavat nuo 78 komponenttia siis 72,22 % kriittisyydestä – Pareto-jakauman tavoin ilmaistuna 72/36. Tämä ei kuitenkaan ota huomioon eri kriittisyysarvojen yleisyyttä taulukossa. Tavoitekriittisyys 20 on tässä valittu osin siksi, että mikäli kriittisyyden arvo on alle 20, ei kohde arvotustaulukoiden mukaan rikkoutueensa käytännössä aiheuta tuotantopysähdystä tai ilmene erityisen usein.



Kuva 8 Kriittisyys - kaikki analyysitaulukon rivit

Kumulatiivisen kriittisyyden osalta 80/20-jakauma taas toteutuu varsin heikosti, sillä jakauma on melko tarkkaan 80/50 (80,06/49,32) 108:n kriittisimmän komponentin muodostaessa 80% kumulatiivisesta kriittisyysarvosta. Tämä on kuitenkin tuloksena selkeä, sillä käytännössä nuo 108 komponenttia muodostavat 80 % järjestelmän kokonaiskriittisyydestä.

Kuvan 8 kuvaajan lähdedatassa on kuitenkin mukana kaikki vika- ja vaikutusanalyysin arvetut komponentit, mikä tarkoittaa, että monet komponentit esiintyvät datassa useaan kertaan niiden ollessa käytössä eri laitteissa. Kuvassa 9 komponenteista onkin ensin poistettu toistumat, jolloin jäljelle jäi 111 yksittäistä komponenttia komponenttikohtaisen tarkastelun mahdollistamiseksi. Eli lähdedatasta on poistettu jokaisen komponentin kriittisimmän esiintymän ulkopuoliset esiintymät, mutta muuten se on muodostettu samoin kuvan 8 kanssa. Kuvaajien muoto ei olennaisesti muutu, mikä kertoo siitä, että komponenttien järjestelmän eri laitteiden esiintymien välillä ei ole suurta kriittisyysarvon vaihtelua. Tämä johtuu mitä luultavimmin siitä, että laitteita kohdeltiin analyysissä yhdenmukaisuuden nimissä tuotantokriittisinä.



Kuva 9 Kriittisyys - yksittäiset komponentit

Tästä yksittäisten komponenttien joukosta muodostetusta kuvaajasta on nähtävissä, että jakaumat ovat pysyneet jokseenkin samoina kuvan 8 kanssa. 40 yksittäisen komponentin kriittisyyden lasku laski järjestelmän maksimikriittisyyden alle kahdenkymmenen, joten jakauma on tässäkin 72,22/36, joskin puolen prosenttiyksikön erolla joka poistuu tasalukuun pyöristettäessä. Lisäksi kumulatiivinen kriittisyys ylittää 80 % rajan komponentin 55 kohdalla, jolloin jakaumaksi tulee 80,14/49,55 – lähes sama kuin kaikille komponenteille duplikaatteineen. Järjestelmän yksittäisten komponenttien kokonaiskriittisyys on 2061,625.

Oletettavaa on, että mikäli vaikkapa komponentin A kuntoa tai käyttäytymistä voidaan alkaa ennustava kunnossapito mahdollistaen tarkkailla vaikkapa hyllystöhississä, voidaan näin tehdä myös muissa laitteissa. Kehitysprojektille olennaista lieneekin siis nähdä nämä kriittisimmät yksittäiset komponentit, jonka jälkeen voidaan vielä varmistaa niiden käyttö järjestelmän eri osissa. Kuvan 9 perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että mikäli 55 kriittisimmän komponentin kriittisyys poistetaan tai arvo lasketaan ennustavan kunnossapidon kehittämisellä alle kahdenkymmenen, laskee järjestelmän kokonaiskriittisyys 80 %. Tämä voisi tapahtua esimerkiksi yleisyysarvon pudotessa aidon ennalta

havaittavuuden noustessa riittävän suureksi, jolloin komponentit eivät teoriassa enää vi-
kaannu. Johdannossa on tarkemmin käsitelty vika- ja vaikutusanalyysin tulosten tulkit-
semista jatkossa RPN-arvon pohjalta.

5.1.2 Kehityspotentiaali

Voidaan olettaa, etteivät työryhmän jäsenet ole osanneet kaikissa tapauksissa arvioida
oikein eri komponenttien ennustavaan kunnossapitoon tähtäävän kehityksen potentiaa-
lia. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää suuntaa-antavina, ja etenkin kehitysprojektin alku-
vaiheessa niiden osalta voi olla mielekästä tehdä valintoja etenkin uusien järjestelmien
kehitystyössä. Tässä luvussa kaikki havaittavuuden arvot viittaavat arvoon Dkk, jolloin
suurempi luku tarkoittaa kohteen tilan tarkkailun vaativan työmäärältään pientä kehitystä,
ja pieni luku vastaavasti viittaa kohteen olevan vaikea tai mahdoton kehitettävä.

Valitettavan monen komponentin osalta työryhmä joutui nykyisen tiedon valossa totea-
maan, että komponentin siirtäminen ennustavan kunnossapidon piiriin vaatisi joko koh-
teessa käytetyn teknologian vaihtamisen kokonaan toiseen (Dkk = 2) tai kohteen osalta
ei nähty voivan mielekkäällä panostuksella voivan tehdä mitään (Dkk = 1). Vastaavasti
arvoa 5, joka viittaa tilantarkkailun olevan mahdollista jopa pelkällä ohjelmistomuutok-
sella, ei annettu millekään komponentille. Lisäksi vain viisi komponenttia sai arvon 4.
Reilusti yli puolet komponenteista taas asetettiin varovasti arvoon 3, mikä saattaa osit-
tain selittyä sen turvallisella rajauksella: iso uusi ohjelmisto-ominaisuus / laaja instrumen-
tointimuutos / toissijaisen komponentin vaihtaminen toiseen. Arvo 4 viittaa lähes sa-
maan, mutta muutos on laajuudeltaan pieni ja komponenttien vaihdon sijaan kyseessä
on lisäinstrumentointi, kuten ylimääräinen anturi. Koska tähän selvitykseen ei työn ai-
kana varsinaisesti erikseen paneuduttu, vaan tuloksia kerättiin kriittisyyskartoituksen
ohessa olemassa olevin tiedoin, välttelivät työryhmän jäsenet antamasta kehityspotenti-
aalin osalta liian optimistisia arvioita. Neljä viidestä komponentista, joille Dkk = 4, on
mekaanisia komponentteja. Niille kirjatut kehitysehdotelmät ovat kaikki PLC-koodin muu-
toksia ja lisäanturointeja.

Taulukossa 9 on esitelty koko järjestelmän 10 tärkeintä komponenttia kun kriteerinä on
RPN, joka on laskettu Dkk:ta käyttäen. Taulukosta on kuitenkin nähtävissä, että kaikkien
komponenttien Dkk-arvo on 3, joten käytännössä näiden komponenttien välinen priori-
sointi tuottaa saman tuloksen myös pelkällä kriittisyysarvolla. Tässä havainnollistuu
myös hyvin eräs viisiportaisen D-arvon haaste – keskimäinen arvo ei käännettäessä

muutu, joten kaikki Dk tai Dkk arvon 3 saaneet komponentit ovat kumpaan tahansa perustuvilla RPN-arvoilla järjestettyinä samassa järjestyksessä. Nähtävissä on myös, että kaikki taulukon komponentit ovat kahdentyyppisiä kenttäväyläkomponentteja, mikä johtuu niiden suuresta osuudesta järjestelmän kriittisimpien komponenttien joukossa.

Taulukko 9 RPN Dkk, koko järjestelmän top 10

| Komponentti | Komponenttiryhmä (Mekaniikka / Sähkö / Kenttäväylä) | Laite | S (1-10) | O (1-10) | D ennustava /ennakoiva (nykyinen) | D reagoiva | D kehitys | D kehitys (käännetty) | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (käänteinen) | CRIT S*O |
|-------------|---|-------------|----------|----------|---|------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------|
| B | Kenttäväylä | Latausasema | 10 | 7 | 5 | 3 | 3 | 3 | 210 | 210 | 210 | 70 |
| B | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| B | Kenttäväylä | Kuljetin | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| B | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| B | Kenttäväylä | Muu laite | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Latausasema | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Kuljetin | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Muu laite | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |

Taulukkoa katsoessa on kuitenkin selvää, että varsinaisen tuotekehityksen päätöksen kannalta se tarjoaa vain hyvin vähän olennaista tietoa. Komponenttien B ja D osalta nähdään, että niiden vakavuusarvo on taulukossa näkyvissä sijainneissa sama, ja vain yksi komponentin B esiintymä (latausasema) on yleisyysarvoltaan hieman suurempi. Todellisen, kymmenen Dkk:n kannalta tärkeimmän kohteen selvittäminen onkin mielekkäämpää tehdä poistamalla komponenttien toistumat. Taulukko 10 on muodostettu näin: esillä ovat 10 RPN Dkk-arvoltaan suurinta erillistä komponenttia. Tässä on huomioitava, että taulukkoon mukaan tullut komponentin käyttökohteena ollut laite voi olla sattumaa, mikäli RPN on ollut eri laitteilla yhtä suuri, kuten aiemmassa taulukossa nähtiin. Tästä syystä laitteelle ei kannata antaa erityistä painoarvoa pelkästään tämän otannan perusteella, vaan olennaista on mitkä komponentit taulukossa on esitetty. Kenttäväyläkomponentit, luonnollisesti mukaan lukien komponentit B ja D, esiintyvät taulukossa edelleen vahvasti, mutta nyt kymmenen otannan joukossa on myös joitain sähkökomponentteja.

Taulukko 10 RPN Dkk, koko järjestelmän top 10 yksittäistä komponenttia

| Komponentti | Komponenttiryhmä (Mekaniikka / Sähkö / Kenttäväylä) | Laite | S (1-10) | O (1-10) | D ennustava /ennakoiva (nykyinen) | D reagoiva | D kehitys | D kehitys (käännetty) | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (käänteinen) | CRIT S*O |
|-------------|---|-------------|----------|----------|---|------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------|
| B | Kenttäväylä | Latausasema | 10 | 7 | 5 | 3 | 3 | 3 | 210 | 210 | 210 | 70 |
| D | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| A | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 8 | 5 | 2 | 4 | 2 | 144 | 288 | 144 | 72 |
| H | Sähkö | Hissi | 6,75 | 7 | 5 | 2 | 3 | 3 | 94,5 | 141,75 | 141,75 | 47,25 |
| C | Sähkö | Hissi | 6,75 | 9 | 5 | 3 | 4 | 2 | 182,25 | 243 | 121,5 | 60,75 |
| E | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 2 | 4 | 2 | 120 | 240 | 120 | 60 |
| L | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 120 | 120 | 120 | 40 |
| M | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 120 | 120 | 120 | 40 |
| F | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 162 | 216 | 108 | 54 |
| Q | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 1 | 3 | 3 | 33,75 | 101,25 | 101,25 | 33,75 |

Kaikkien taulukossa esitettyjen kohteiden kehittämiseen ennustavaa kunnossapitoa ajatellen vaaditaan työryhmän näkemyksen mukaan vähintäänkin merkittävä ohjelmistomuutos, laaja instrumentointimuutos, toissijaisen komponentin vaihtaminen toiseen tai jopa käytetyn teknologian vaihtaminen. Tämä pätee kuitenkin, kuten luvun alussa todettiin, suurimmalle osalle tarkastelluista kohteista.

5.1.3 Vikaantumistyytit, -syyt ja vaikutukset tuotantoon

Tässä luvussa on esitelty joitain vika- ja vaikutusanalyysin aikana esiin nousseita komponenttien vikaantumistyyppien, mitkä ovat olleet vikaantumisten oletettavat juurisyyn sekä miten vikaantuminen on vaikuttanut tuotantoon. Käytännössä lähes jokaisella komponentilla on etenkin vikaantumistyyppien ja -syyn osalta omanlaisensa kirjaus, joten tässä luvussa mainitaan vain tuloksissa selkeästi esiin nousevia tapauksia.

Mekaaniset ongelmat MLS:ssä ilmenevät hyvin usein erilaisina jättäjävirheinä tai liikkumattomuusvirheinä, kuten ”nopeus ei seuraa asetettua arvoa”, ”liikkeen paikoitus on kestänyt liian kauan” tai ”akseli ei liiku”. Nämä eivät virheinä erityisen usein aiheuta tuotantopysähdystä, mutta saattavat pahimmillaan oireillaan vaikeuttaa tuotantoa huomattavissa määrin esimerkiksi hyllystöhissin pysähdellessä jokaiselle liiketehtävällä. Muita

mekaanisista ongelmista kieliviä vian merkkejä ovat järjestelmästä kuuluvat äänet, erilaiset värinät ja liikkuvien osien liikeratojen vajoaus. Muut komponentit taas aiheuttavat usein erilaisia kenttäväylä- ja turvahälytyksiä ja taajuusmuuttajat yli- tai alivirtavirheitä.

Eri komponenttien vikaantumisten mahdollisiksi syiksi nähtiin lukuisa kirjo erilaisia aiheuttajia. Virheellinen asennus, kohdistus tai säätö nousi työryhmän keskusteluissa usein pinnalle, ja monelle komponentille ne nähtiinkin lähes ainoina mahdollisina vian aiheuttajina. Näiden lisäksi puutteellinen kunnossapito sekä likaantuminen tai ruoste olivat yleisiä osatekijöitä, eivät kuitenkaan yleensä ns. ensisijaisia vikaantumisen syitä. Ympäristötekijöinä listattiin jännitepiikit, ylikuumeneminen, kosteus, värinä, lastuavan työn aiheuttamat metallilastut väärissä paikoissa sekä leikkuunesteen aiheuttama muovin haurastuminen. Viimeksi mainittu on tunnettu ongelma tietynlaisia muovisia liukupaloja käyttävissä teleskooppihaarukoissa, eikä ole uudemmissa hissityypeissä enää läsnä. Kunnossapidon kannalta merkittävänä asiana mainittiin myös joidenkin mekaanisten rakenteiden, kuten kuulajohdekelkkojen ja hammaskehien, vääränlainen voitelu joka estää rakenteen oikeanlaisen toiminnan liikkeessä.

Tuotantopysähdystä vikaantumisen tapahduttua arvioitiin analyysissä seuraavilla termeillä: aiheutuu minuuteissa, tunneissa, päivissä, kuukausissa tai ei lainkaan. Lisäksi arvo saattoi olla joidenkin edellä mainittujen sekoitus. Käytännössä minuuteissa pysäyttäviä komponentteja ovat kaikki turva-PLC:n osat, sillä järjestelmää ei voida ajaa niin kauan kuin turvapiiri näyttää jossain olevan poikki. Tähän on uudemmissa järjestelmissä jo tehty korjaus hajauttamalla turva-I/O niin, että esimerkiksi yksittäisen aseman turvapiirin katkeaminen ei estä järjestelmän toimintaa ellei kyseessä ole mahdollinen pääsy hissikäytävään. Kuukausissa pysäyttävät viat taas olivat useimmiten mekaanisia vikoja joiden tiedetään pahenevan ajan myötä. Tuotantopysähdysten lisäksi arvioitiin vikaantumisen aiheuttaman haitan suuruutta silloin, kun komponentti ei välttämättä vikaantuessaan aiheuta tuotantopysähdystä. Haittaa arvioitiin asteikolla lievä – keskivaikea – vaikea. Lievät haitat olivat usein kuitattavissa olevia asemien paikoitusvirheitä tai melua, kun taas vaikeissa kyse oli yleensä jonkin laitteen osan täydestä toimimattomuudesta.

5.2 Muiden menetelmien tuloksista

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi, mitä havaintoja varaosamyyntin analyysistä sekä teknisen tuen raporteista tehtiin, sekä minkälaisia yhtäläisyyksiä niiden väliltä löydettiin. Näiden menetelmien tuloksia verrataan, siltä osin kuin se on mielekästä, myös vika- ja vaikutusanalyysin tuloksiin sekä 80/20-säännön periaatteisiin.

5.2.1 Varaosamyynnin analyysin tulokset

Varaosamyyntiä analysoimalla saaduista tuloksista on havaittavissa tiettyjä mielenkiintoisia yhtäläisyyksiä vika- ja vaikutusanalyysin sekä myös teknisen tuen raportoinnin tuloksiin. Kenttäväyläkomponentit, tietyt anturityypit sekä erilaiset ketjut tarvikkeineen ovat varsin korkealla listalla sen ollessa järjestettynä myyntimäärien mukaan. Ketjujen tosin voidaan arvioida olevan näin ylhäällä siksi, että kulutusosana niitä vaihdetaan verrattain usein ennakoivan kunnossapidon johdosta. Nimikeryhmä Ancillary components taas lie-
nee myyntimääriltään suuri lähinnä sen sisältämän sekalaisen, osin kulutusosista muodostuvan sisällön vuoksi. Kaikenlaiset ajo-, tuki- ja ohjauspyörät esimerkiksi kuuluvat niin ikään tähän ryhmään, mikä taas selittää myös laakereiden korkean myynnin, sillä pyöriin asennetut laakerit vaihdetaan aina pyörien vaihdon yhteydessä. Sähköisistä komponenteista esiin nousevat kenttäväyläkomponenttien ja anturien lisäksi myös taajuusmuuttajat, mikä myös korreloi teknisen tuen raportoinnin tulosten kanssa.

Taulukosta 11 on myös tietyllä tavoin havaittavissa 80/20-jakaumaa mukaileva ilmiö: 31,4 % kaikista nimikeluokista muodostaa 81,2 % varaosamyynnistä. Tästä ei kuitenkaan voida luvussa 4 käsitellyistä lähdedatan ongelmista johtuen suoraan vetää mitään johtopäätöksiä, mutta Pareto-jakauman eräänlainen toteutuminen on nähtävissä.

Taulukko 11 Varaosamyynnin jakauma tuoteluokittain

| | Share of all sold | Cumulative share of all sold | Main component type |
|-------|-------------------|------------------------------|---------------------|
| IG010 | 13,4 % | 13,44 % | Mechanical |
| IG028 | 10,6 % | 24,08 % | Mechanical |
| IG024 | 10,5 % | 34,62 % | Both |
| IG090 | 10,5 % | 45,13 % | Electrical |
| IG018 | 10,0 % | 55,12 % | Mechanical |
| IG035 | 6,3 % | 61,46 % | Mechanical |
| IG001 | 5,7 % | 67,17 % | Mechanical |
| IG048 | 4,8 % | 71,99 % | Electrical |
| IG031 | 4,3 % | 76,25 % | Mechanical |
| IG068 | 3,2 % | 79,48 % | Electrical |
| IG036 | 2,9 % | 82,37 % | Mechanical |
| IG009 | 2,0 % | 84,39 % | Mechanical |
| IG045 | 2,0 % | 86,36 % | Electrical |
| IG062 | 1,8 % | 88,18 % | Electrical |
| IG046 | 1,8 % | 89,95 % | Electrical |
| IG078 | 1,7 % | 91,64 % | Electrical |
| IG047 | 1,4 % | 93,04 % | Electrical |
| IG069 | 1,1 % | 94,10 % | Electrical |
| IG066 | 0,8 % | 94,95 % | Electrical |
| IG107 | 0,7 % | 95,69 % | Mechanical |
| IG027 | 0,6 % | 96,29 % | Both |
| IG037 | 0,5 % | 96,75 % | Mechanical |
| IG030 | 0,4 % | 97,19 % | Mechanical |
| IG065 | 0,4 % | 97,59 % | Electrical |
| IG072 | 0,3 % | 97,93 % | Electrical |
| IG032 | 0,3 % | 98,27 % | Mechanical |
| IG051 | 0,3 % | 98,59 % | Electrical |
| IG064 | 0,3 % | 98,90 % | Electrical |
| IG071 | 0,3 % | 99,17 % | Electrical |
| IG038 | 0,2 % | 99,41 % | Mechanical |
| IG033 | 0,2 % | 99,63 % | Mechanical |
| IG049 | 0,2 % | 99,81 % | Electrical |
| IG050 | 0,1 % | 99,89 % | Electrical |
| IG093 | 0,1 % | 99,96 % | Mechanical |
| IG082 | 0,0 % | 100,00 % | Electrical |

5.2.2 Teknisen tuen raportoinnin analyysin tulokset

Teknisen tuen raportoinnin tulosten yhtäläisyys varaosamyynnin analyysin tulosten kanssa ei sinänsä ole yllätys – johtaahan lähes jokainen teknisen tuen työpyyntö, jolla juurisyys on todettu vaurioitunut komponentti, varaosien myyntitapahtumaan. Taulukossa 12 on esitetty yksinkertaistettu näkymä Service Desk -työpyyntöjen analyysistä siltä osin, kun juurisyynä on todettu olleen komponenttivaurio tai -häiriö. Taulukossa ei siis ole mukana esimerkiksi operaattorivirheitä tai ohjelmistohäiriöitä.

Taulukko 12 Service Desk -työpyyntöjen jakauma (komponenttilähtöinen vika)

| Service Desk - Issue Categories (Components) | Category share of all tickets | Category cumulative share of all tickets |
|--|-------------------------------|--|
| HW/Electric - Faulty Fieldbus module | 15,40 % | 15,40 % |
| Mech - Crane | 14,87 % | 30,27 % |
| HW/Electric - Faulty PC HW | 11,15 % | 41,42 % |
| Connectivity / Network | 10,97 % | 52,39 % |
| HW/Electric - Faulty drive unit / encoder | 8,14 % | 60,53 % |
| HW/Electric - Faulty electrical component | 7,43 % | 67,96 % |
| HW/Electric - Faulty sensor – Crane | 6,73 % | 74,69 % |
| HW/Electric - Faulty cable / wiring | 5,66 % | 80,35 % |
| Mech - Loading Station | 4,42 % | 84,78 % |
| HW/Electric - Faulty sensor – Stations | 3,72 % | 88,50 % |
| HW/Electric | 3,19 % | 91,68 % |
| HW/Electric - Other faulty component | 2,83 % | 94,51 % |
| Mech | 1,59 % | 96,11 % |
| Mech - IT-table - MC | 0,88 % | 96,99 % |
| Mech - Structure | 0,88 % | 97,88 % |
| HW/Electric - Faulty sensor – MC | 0,71 % | 98,58 % |
| HW/Electric - Faulty MC IO hardware | 0,35 % | 98,94 % |
| HW/Electric - Faulty robot IO component | 0,35 % | 99,29 % |
| Mech - Conveyor | 0,35 % | 99,65 % |
| Mech - Robot | 0,35 % | 100,00 % |
| Grand Total | 100,00 % | |

Näiden tulosten pohjalta tehtiin myös riskimatriisi, jossa ongelmaryhmät on jaettu matriisin eri osiin sen mukaan, kuinka yleisiä ne olivat ja kuinka usein ne ilmenivät vakavuudeltaan merkittävässä työpyynnöissä. Tämä riskimatriisi on nähtävissä kuvassa 10, ja siinä ovat mukana kaikki Service Deskin ongelmaluokat pelkkien komponenttivikojen sijaan. Käytännössä toimenpiteitä vaativia (sietämättömiä tai merkittäviä) ongelmaryhmiä olivat useimmat sähkökomponenttien ryhmät, hissien mekaniikka, verkko-ongelmat sekä erityisesti tietokantalähtöiset ohjelmistoviat. Vika- ja vaikutusanalyysissä näistä olivat mukana sähkökomponentit ja hissien mekaaniset komponentit.

| Prob / Conseq. | Medium | Major | Critical | Blocker |
|--|----------------------|--|---|--|
| Very high (> 10 %) | | User support SW - Device control | | |
| High (10 % > 4 %) | | Software - Fastems services Connectivity / Network Third-Party components Software - Other software | | HW/Electric - Faulty Fieldbus module Mech - Crane HW/Electric - Faulty PC HW |
| Occasional (4 % > 2 %) | | Software - MMS UI Software - DNC Software Software Mech - Loading Station | | HW/Electric - Faulty drive unit / encoder Software - Database Issue Oracle HW/Electric - Faulty electrical component HW/Electric - Faulty sensor – Crane HW/Electric - Faulty cable / wiring |
| Rare (2 % > 0,5 %) | | HW/Electric HW/Electric - Other faulty component Software - 3rd Party software Mech | HW/Electric - Faulty sensor – Stations | Software - Database Issue SQL |
| Very rare (< 0,5 %) | Mech - IT-table - MC | | Software - Fastwizard HW/Electric - Faulty sensor – MC | Mech - Structure Mech - Robot |
| Percentage points to issue category share of total tickets | | | | |

Kuva 10 Teknisen tuen raportoinnin riskimatriisiesitys

Huomionarvoista on, että teknisen tuen raportoinnin tuloksista on selvästi nähtävissä kenttäväylämoduulien olevan, vika- ja vaikutusanalyysin tuloksia myötäillen, korkean riskin komponenttiryhmä, minkä lisäksi tiettyjä sähkökomponentteja esiintyy listan kärjessä niin ikään taajaan. Toisaalta hissin mekaaniset komponentit ovat osallisina n. 15 %:ssa kaikista työpyynnöistä, mikä ei lainkaan korostu vika- ja vaikutusanalyysissä. Tämä johtuu mahdollisesti siitä, että vika- ja vaikutusanalyysin vakavuusarvo on hyvin tuotantopysähdyspainotteinen, ja hissin mekaaniset osat johtavat useammin toistuviin pientä haittaa aiheuttaviin virheisiin kuin tuotantopysähdyksiin. Nämäkin tilanteet kuitenkin häiritsevät tuotantoa ja niistä tehdään tällöin kunnossapidon tai teknisen tuen työpyyntö.

Teknisen tuen raportoinnin käytettävyyden voidaan sanoa olleen tutkimuksen aikana pettymys, sillä ongelmaluokista ja vakavuudesta alettiin yrityksessä aikoinaan pitää kirjaa nimenomaan tilastointia varten. Kuten luvussa neljä todettiin, on tällä datalla kuitenkin nykyisessä muodossaan varsin vähän käyttöä. Raportoinnin mielekkyyttä voitaisiinkin tulevaa ajatellen kasvattaa esimerkiksi erottamalla työpyynnön prioriteetti ja vakavuus toisistaan kahdeksi erilliseksi pudotusvalikoksi. Tällöin vikaantumisen vaikutukset järjestelmään ovat todenmukaisemmat, mutta työpyyntöä voidaan silti priorisoida muillakin perusteilla. Ongelmaluokajaottelua olisi myös hyvä selkiyttää ja tarkentaa sekä kouluttaa järjestelmätukiasiantuntijoille niiden oikeaoppista käyttöä. Epäselvyydet samankaltaisten luokkien välillä (esim. HW/Electric – Faulty electrical component ja Other faulty component) tulisi poistaa ja mekaniikkaosien luokittelua täsmentää. Etenkin hissin mekaaninen rakenne tulisi jaotella osa-alueittain, vähintäänkin akselitasolla, mutta mielellään vielä tarkemmin esimerkiksi voimansiirron ja rakenteen komponentteihin.

5.3 Kriittisten komponenttien kunnon seuranta ja vikaantumisen ehkäiseminen

Kaikkien kriittisiksi määriteltyjen komponenttien kohdalla vaurion tai kuluman havainnointi ja ennustaminen ei ole mahdollista. Tällöin on tarkoituksenmukaista hyödyntää muita, ehkäiseviä keinoja haitallisen ilmiön ilmenemistodennäköisyyden laskemiseksi. Useiden sähköisten komponenttien, kuten kenttäväylämoduulien, yleiseksi vaurioitumisen muodoksi nousivat vika- ja vaikutusanalyysin aikana selvästi esiin jännitepiikit. Jännitepiikit komponenttien syöttöjännitteessä ovat aina odottamattomia, joten niiden ennustaminen on käytännössä erittäin haasteellista. Järjestelmän sähkönsyötön suojaukset, kuten suotimet ja sulakkeet, eivät kuitenkaan suojaa kenttäväylämoduulien kaltaisia sarjaan kytkettyjä pieniä komponentteja tarpeeksi, sillä niiden on todettu edelleen vaurioituvan verrattain usein juuri järjestelmän ylösajossa tai yhtäkkisessä sähkökatkossa.

Tämänkaltaisen vaurioitumisen ennalta havaitsemisen ollessa käytännössä mahdollista, on ehdottoman suositeltavaa pyrkiä löytämään ratkaisuja joilla vaurioituminen estetään kokonaan.

Komponentin kulumisen, tai osittaisen vaurioitumisen, havaitsemisen mahdollisuudet ennen varsinaista virhetilannetta myös vaihtelevat suuresti komponenttien erilaisten käyttökohteiden ja sijainnin järjestelmässä vuoksi. Työn aikana todettiin, että kunnon seurannan menetelmät niille komponenteille joille sen nähtiin olevan mahdollista, voidaan suurelta osin jakaa kahteen pääryhmään. Ensimmäisessä arvioidaan suoraan jotain komponentille olennaisia tilatietoja tai muita mitattavia suureita, jolloin on oltava ennalta määritellyt raja-arvot sille, millainen mittaustulos on merkki komponentin vauriosta. Tällaisia mittaussuureita voisivat olla esimerkiksi lämpötila, värinä ja vasteajat, sekä älykkäämmissä komponenteissa teknologian oman diagnostiikan lähettämät viestit.

Toisessa ryhmässä komponentin jotain tilatietoa kirjataan järjestelmän tietokantaan jatkuvasti joko yhdenmukaisissa vaiheissa järjestelmän toimintaa tai tietyin aikavälein, ja tätä mittausta verrataan tallennettuna jo olevaan dataan poikkeamien havaitsemiseksi. Tämä jo tallennettu data voi olla esimerkiksi laskennallinen ohjearvo, historiakeskiarvo tai vaikkapa käyttöönotossa tehdyn virheettömän koeajon antama ajoliikkeen profiili. Laajemman datankeruun myötä näitä tietoja voidaan myös vertailla eri järjestelmien välillä, jolloin saatavilla olevan datan määrä kasvaa ja uudemmastakin järjestelmästä voidaan havaita poikkeamia muiden järjestelmien tunnettuun historiaan perustuen. Tässä luvussa käydään läpi joitain kunnonseurantaan mahdollisesti soveltuvia menetelmiä, sekä lyhyesti puhutaan odometrian käytettävyydestä komponenttien seurannassa.

5.3.1 Komponenttien kunnonvalvonta

Tässä luvussa on käsitelty mahdollisia datan keruuseen tai analysointiin soveltuvia teknologioita tai metodeja. Osa niistä on vika- ja vaikutusanalyysin suorittaneen työryhmän havaintoja, osa taas työn tekijältä tai muualta yrityksen sisältä tulleita ajatuksia.

Monen etenkin mekaanisen komponentin tapauksessa kunnonvalvonta vaatii yleensä lisäänturointia, kuten värinä- ja lämpötila-antureita, analysoitavan datan keräämiseksi. Tähän potentiaalisena ratkaisuna nähtiin IEC 61131-9 standardissa määritelty IO-Link -teknologia, joka on erityisesti antureiden ja toimilaitteiden kanssa kommunikointiin kehitetty point-to-point -protokollaa (suom. pisteestä-pisteeseen) hyödyntävä kommunikaati-

ostandardi. Kyse ei ole kenttäväylästä, vaan sen jatkeeksi soveltuvasta kommunikaatio-tekniologiasta [26]. Teknologia sallii toimilaitteiden parametroidin ja diagnostiikkatietojen lukemisen suoraan toimilaitteilta, jolloin perinteinen tulo- ja lähtöpohjainen rajapinta laajentuu todelliseksi kommunikaatiolinkiksi [27]. IO-Link olisi luonnollisesti vaihtoehto myös itse antureiden korvaajaksi, jolloin kriittisiksi arvioitut anturit vaihdettaisiin teknologialtaan sellaisiksi, että niiltä saadaan suoraan luettua diagnostiikkaa sekä tilatietoja. Lisäksi yrityksen jo käyttämä PLC-laitetoimittaja tarjoaa teknologiaa hyödyttäviä sovelluksia, kuten esimerkiksi IO-Link liitännän antureiden lisäämiseksi kenttäväylään [28]. IO-Link on myös vika- ja vaikutusanalyysin työryhmän lausuntojen perusteella yksi lupaavimmista kehitysprojektin tavoitteita palvelevista teknologioista.

Hyllystöhissin virransyöttöön pohdittiin työryhmän sisällä lisäksi ylimääräistä jännitteen seurantaa ja vertaamista syöttöjännitteeseen. Tässä saatettaisiin havaita virtakiskon ja virranottimen rappeumaa ennen kuin jännitteenalenemat aiheuttavat virheitä hissin toiminnassa.

Paikka-anturit (pulssianturit, enkooderit) aiheuttavat aika-ajoin ongelmia järjestelmissä, sillä millintarkan paikoituksen pettäessä on kolari etenkin hyllystöhissin tapauksessa erittäin todennäköinen. Muissakin laitteissa kyse on vähintäänkin käyttöä suuresti haittaavasta viasta, mikäli liikkuvan akselin paikka on väärä tai liikkeen suorittaminen johtaa usein järjestelmän virheeseen. Informa PLC:hen kuuluvan Machine Designin kirjoittaja Elisabeth Eitel listaa paikka-anturien suurimmiksi kompastuskiviksi useita ympäristötekijöitä, joihin voi olla vaikea suoraan vaikuttaa. Näihin kuuluvat lämpötilavaihtelun aiheuttama kosteus anturin sisällä paine-erojen vedettyä ilmaa kotelon saumoista, erilaiset pienpartikkelit sekä erityisesti värinä [29]. Myös kohinaa aiheuttavien virtakaapeleiden läheltä vedetty anturin kaapeli aiheuttaa usein ongelmia, mutta tämä tiedetään otetun huomioon yrityksen tuotekehityksessä. Ainoat keinot ympäristötekijöiden torjumiseksi saattavat olla kestäväntyyppien valinta ja asennuskohteen suojaaminen, mutta värinä- ja lämpötila-anturointia saatettaisiin harkita erityisen haavoittuvissa kohteissa.

5.3.2 Järjestelmän käyttäytymisen tarkkailu

MLS:n käytöksen tarkkailu ja ennalta määrättyihin viitearvoihin tai ihanneprofiiliin vertaaminen olisi sekä allekirjoittaneen omien tutkimusten, että yrityksen sisällä tehtyjen asiantuntijahaastattelujen perusteella eräs lupaava kunnonseurannan muoto. Menetelmän soveltuvuus tulee selvittää erityisesti niille kohteille, joille suora tilantarkkailu tai kunnonseuranta ei ole mahdollista tai mielekäästä. Tämä saattaa tulla kyseeseen esimerkiksi

monien mekaanisten komponenttien tai osajärjestelmien kohdalla. Edellä kuvatun lainen, viiteprofiiliin tai -arvoihin vertaamiseen perustuva, tilantarkkailu on käytännössä hyvin samankaltainen ohjauskaavion (Control Chart) kanssa. Ohjauskaavio on varsin tunnettu prosessinhallintatyökalu, jota käytetään prosessien vakauden tarkkailuun ja hallintaan. Tämän lisäksi sen katsotaan olevan tehokas analyysityökalu [30].

Vertailukohteena käytettävien viitearvojen tai profiilien määrittäminen tulee suorittaa tapauskohtaisesti, eikä kaikkiin tarkkailukohteisiin oletettavasti ole määriteltävissä, tai edes testausperusteisesti luotavissa, luotettavia viitearvoja. Näiden viitearvojen määrittäminen tulee joka tapauksessa tehdä joko yrityksen kunkin suunnitteluosaston toimesta tai läheisessä yhteistyössä heidän kanssaan. Yhdenlainen lähestymistapa, varsinkin liikuvien akseleiden ja niihin liittyvien komponenttien, viitearvona toimivan käytöksen määrittämiseen voisivat olla jonkinlaiset säännölliset viitearvoajot, jotka ajettaisiin aina samoin parametrein ja samoissa olosuhteissa. Esimerkiksi hyllystöhissin voisi kuukausittain kunnossapidollisena toimena asettaa ajamaan tällaisen viitearvokierroksen, jonka aikana hissi hakee tietyn, tunnetun painoisen paletin, ja kuljettaa sen läpi määritellyn reitin. Viitearvoajon mitattavien suureiden määrittely tulee selvittää tarkkaan tulosten laadun varmistamiseksi, mutta hissin akseleille sopivia suureita voisivat olla esimerkiksi taajuusmuuttajan liikkeeseen sen kussakin vaiheessa tarvitsema virta, ajoliikkeen mitatun profiilin ja ohjausarvon välinen suhde eli niin sanotut nopeus- ja paikkajättämät, erilaiset värinät tai joidenkin ajon vaiheiden, kuten paikoituksen, ajallinen kesto.

Yrityksen sisällä on myös alustavasti kartoitettu tekoälyn ja koneoppimisen hyödyntämistä vikatilanteiden analysoinnissa. Käytännössä kaikkien datankeruun kohteena olevien järjestelmien tietoja analysoitaisiin erityisesti virhetilanteissa taaksepäin, millä pyritäisiin löytämään vikaantumistavoille yhtenäisiä paljastavia tekijöitä. Näitä havaintoja voitaisiin sen jälkeen käyttää perusteluna ennustavan kunnossapidon toimenpiteille. Tämänkaltaista analyysiä varten kerättyä dataa on kuitenkin tarpeen jäsennellä muotoon, jossa algoritmi voi sitä käsitellä, joten datamäärän huomioon ottaen kyseessä on suu-
rehko kehitystyö ennen kuin menetelmää voi todella hyödyntää. Yleinen näkemys kuitenkin on, että käyttöön perustuvaan kunnonvalvontaan kannattaa menetelmänä paneutua.

5.3.3 Vertaaminen valmistajan ohjearvoihin

Tapauksissa, joissa komponentin varsinaiseen kunnonseurantaan ei löydetä tarkoituksenmukaista muuttujaa tai muuta tarkkailukohdetta, kyseeseen voisivat tulla komponenttivalmistajien omat ohjearvot komponentin käyttöiästä ja kulutuksen kestosta. Järjestelmästä kerättävän odometriadatan käyttö ja ohjearvoihin vertaaminen saattaisi olla verrattain helposti kehitettävä, osin jo olemassa oleva menetelmä ehkäistä näiden komponenttien aiheuttamia vikatilanteita. Kyseeseen tulevat erityisesti kohteet, joiden kulumaa tai vaurioitumista on vaikea havaita myös ennakoivan huollon yhteydessä. Komponentteja, joiden kohdalla käyttömäärän mittaus ja vertailu valmistajan ohjearvoihin olisi mahdollisesti mielekäs tapa seurata kulumista voisivat olla esimerkiksi hissien virtakisko, erilaiset releet, ovet, kuulajohteet -ruuvit ja -kelkat, sekä erilaiset laakerit.

Tämänkaltainen käyttö- tai ajomäärien seuranta ei kuitenkaan ole kuntoon perustuvaa kunnossapitoa, vaan ainoastaan tarkennettua valmistajan ohjearvojen noudattamista ja odotettavissa olevan vikaantumisen ennakointia. Se on kuitenkin järkevää ottaa huomioon erityisesti kohteissa, joissa varsinainen komponentin kuntoon perustuva analyysi ei ole mielekästä tai mahdollista.

5.4 Vikaantumisen ehkäiseminen sekä vianetsinnän helpottaminen

Vaikka työn alkuperäisissä tavoitteissa ei pyritty vikatilanteiden ehkäisemiseen tai ongelmatilanteiden ratkaisun helpottamiseen esimerkiksi ennakoivan huollon tai komponenttivalintojen ja lisätyn diagnostiikan keinoin, katsottiin vika- ja vaikutusanalyysin aikana mielekkääksi, että myös näihin asioihin paneuduttaisiin komponentin vikaantumista käsiteltäessä. Tässä luvussa on esitelty joitain analyysin aikana esiin nousseita vikaantumisen estämiseen tai vähintäänkin vianetsinnän nopeuttamiseen tähtääviä toimenpiteitä.

Vikaantumisen ehkäisemisestä puhuttaessa nousivat esiin ensisijaisesti asianmukainen asennus ja käyttöönotto, sekä valmistajan ohjeen mukainen ja säännöllinen kunnossapito. Niiden komponenttien osalta, joissa tämänkaltaiset huomiot ovat ainoita työryhmän analyysin aikana tekemiä kehitysehdotuksia, on yrityksen sisäistä ohjeistusta mitä luultavimmin tarpeen tarkistaa ja mahdollisesti päivittää. Samoin asiakkaille toimitettavaa huoltomanuaalia voidaan selkeyttää ja asiakkaan omien huoltotoimenpiteiden merkitystä järjestelmän käyttöönoton jälkeisessä koulutuksessa korostaa. Viimeksi mainittuihin kuuluvat olennaisesti erilaiset siivous- ja puhdistustoimenpiteet jotka ehkäisevät turhia virheitä ja joidenkin komponenttien kulumista.

Vianetsinnän helpottamista käsiteltäessä pidettiin eräänä, varsin helposti toteutettavana toimenpiteenä, yksinkertaisesti virheilmoitusten kirjon laajentamista ja niiden määrän lisäämistä. Tällä pyritään vikaantumisen jo tapahduttua nopeuttamaan ratkaisun löytymistä ja tuotannon jatkumista. Työmäärältään virheiden lisääminen on tämän tutkimuksen aikana esiin nousseista kehitysehdotuksista eräs pienimmistä, mutta kuten luvun alussa on todettu, ei se suoranaisesti vastaa työn tavoitteisiin eikä ole kuntoon perustuvaa tai ennustavaa kunnossapitoa. Kohteissa, joissa ennustavaan kunnossapitoon tähtääviä toimenpiteitä ei nähdä mahdollisina, on tämä kuitenkin resurssien säästämiseksi ja asiakastytytyväisyyden ylläpitämiseksi ehdottoman suositeltava ratkaisu. Monien kenttäväylässä olevien laitteiden sisäinen diagnostiikka on myös laajempi, kuin mitä nykyisellään hyödynnetään, ja käyttämättömien ominaisuuksien hyödyllisyyden kartoitusta pidettiin työryhmässä hyvänä ajatuksena.

Elinkaaripalveluiden sisällä on allekirjoittaneen sekä elinkaaripalveluiden kehityspäällikön toimesta lyhyesti pohdittu myös mahdollisuutta kirjata tietokantaan järjestelmän eri liikkuvien akseleiden paikat tiettyjen virheilmoitusten tapauksessa. Tämä helpottaisi vianetsintää tilanteissa, joissa vika on selkeästi mekaaninen tai muuten paikkariippuvainen, mikäli järjestelmän tiedoista nähtäisiin helposti vian toistuvan samassa paikassa. Kyseisenkaltaisen selvitys on nykyiselläänkin tietyn ikäisissä järjestelmissä jo mahdollista, mutta melko työlästä, eikä tietoja yleensä voida tarkastella kovin pitkälle menneisyyteen. Ideaalitilanteessa yrityksen oma diagnostiikkatyökalu osaisi esittää virhekohtaisen lämpökartan (Heatmap) järjestelmästä, jossa nähtävillä on virheen tai virheiden suhteellinen esiintymistiheys järjestelmän ollessa tietyssä tilassa.

Huomionarvoinen asia on myös työryhmän sisällä yleinen kanta siitä, että joissain kohteissa vikaantumisen estämisen mahdollistaminen saattaa olla vaatimansa työmäärän osalta vähäinen, jolloin se voidaan katsoa esimerkiksi kohteessa käytetyn teknologian vaihtamista mielekkäämmäksi vaihtoehdoksi. Esimerkiksi: vaikka kohteelle olisi olemassa kunnontarkkailun mahdollisuus, jos se on kallis tai vaikea toteuttaa ja kohteen rakennetta on mahdollista muuttaa niin, että vikaantuminen voidaan ennaltaehkäisevällä kunnossapidolla täysin estää, on jalkimmäinen vaihtoehto suositeltavampi.

5.5 Tulosten luotettavuus

Riskianalyysin tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että tutkimus on tehty työryhmätyöskentelynä asiantuntijaryhmän voimin, jolloin tuloksiin vaikuttavat väistämättä inhimilliset tekijät. Tällöin analyysi ei myöskään perustu tarkkoihin historiatietoihin, jolloin sen luotettavuus väistämättä kärsii. Kuitenkin, kuten luvussa neljä on todettu, on työryhmäperusteinen vika- ja vaikutusanalyysi käytettävissä olleista menetelmistä luotettavin. Tätä vahvistaa myös yrityksen oman henkilöstön käyttäminen asiantuntijoina: työryhmän jäsenten kokemus ja erikoisosaaminen liittyy nimenomaan kohteena olleisiin yrityksen tuotteisiin ja niiden tuotekehitykseen sekä toimintaan aidossa toimintaympäristössä. Tästä syystä analyysi ei ole ollut yleispätevä, vaan komponenttien vikaantumista on arvioitu nimenomaan yrityksen tuotteille ominaisissa olosuhteissa ja niille tavallisissa vikaantumisen olomuodoissa. Tämä on omiaan nostamaan tulosten luotettavuutta merkittävästi. Vähintäänkin voidaan olettaa komponenttien kriittisyyden olevan selvitetty kehitysprojektin kannalta riittävällä tarkkuudella ja luotettavuudella.

5.6 Tulosten käytettävyys

Vaikka selvitystyön kohteena olleen järjestelmätyypin (MLS) rakenteesta jätettiin työssä pois suuria määriä komponentteja erilaisin perustein, jäi niitä läpikäytäväksi huomattava määrä: 111 yksittäistä komponenttia ja toistumat mukaan lukien yli 200. Näistä vika- ja vaikutusanalyysin keinoin käsitellyistä komponenteista osa ei analyysin tehneen työryhmän näkemyksen mukaan kuitenkaan joko ole mielekkäästi tai välttämättä edes mahdollisesti tarkasteltavissa ennustavaa kunnossapitoa ajatellen. Suurimpana alaluokkana mainittakoon valtaosa kenttäväyläkomponenteista, joiden vikaantumisen syynä on usein jännitepiikki. Näitä vikatilanteita voidaan kuitenkin joissain tapauksissa tietyssä määrin ehkäistä, vaikka vaurioitumisen ennakoiminen ei mahdollista olisikaan. Työn pääasiallinen tulos on kuitenkin vika- ja vaikutusanalyysin aikana täytetty taulukko, joka jää yritykselle kriittisyyskartoituksen ylläpidettäväksi työkaluksi. Taulukkoa on mahdollista jatkossa hyödyntää sekä yrityksen ennustavan kunnossapidon kehitysprojektissa että muissa tilanteissa, kun on tarpeen selvittää MLS:n jonkin osa-alueen kriittisyys, vikaantumistavat tai -vaikutukset tai mikä tahansa muu analyysissä käsitelty ominaisuus. Tulokset vastaavat täten työn ensisijaiseen tutkimuskysymykseen järjestelmän eri osien kriittisyydestä ja ovat jatkossakin käyttökelpoisia. Luvussa 6 korostetaan kehitysprojektin osalta myös sitä, että vika- ja vaikutusanalyysin tulostaulukkoa päivitetään projektin edetessä ja kehittäessä järjestelmää.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKO

Kuten luvussa 5 on todettu, voidaan työssä tehdyn riskianalyysin tuloksia tulkita monin eri tavoin riippuen siitä, minkä tunnusteluvun mukaan tulokset järjestetään. Tästä syystä on tärkeää, että kehitysprojektin alkuvaiheessa tehtävässä priorisointiosiossa mietitään tarkkaan, mitä projektissa halutaan painottaa. Kyseeseen voisivat tulla esimerkiksi muutostyön helppous ja pienet kustannukset, tai komponentin kriittisyys riippumatta muutostyön laajuudesta. Todellinen valinta tulee luultavasti olemaan jotain tältä väliltä: kaikkia kriittisimpiäkään kohteita ei oletettavasti ole taloudellisesti mielekästä korjata, ja moni helposti lähestyttävä kohde saattaa olla riskiluokituksestaan matala.

Suomen mittapuulla keskisuuren yrityksen toiminta globaalilla kentällä on haastavaa asiakaskentän ja siten myös laitekannan maantieteellisen hajonnan ollessa suurta. Reaktiivinen kunnossapito on yleensä hyvin kallista, ja saattaa johtaa vasteaikojen venyessä lisääntyneeseen asiakastyytymättömyyteen. Kuntoon perustuva kunnossapito ja häiriötilanteiden ennakoiminen on onnistuessaan erinomainen tapa pienentää toiminnan kustannuksia ja nostaa asiakastyytyväisyyttä.

Konepajateollisuuden yritykset ovat asiakkaina haastava toimintaympäristö erinäisten melun-, värinän- ja lianlähteiden sekä järjestelmän usein korkean käyttöasteen johdosta. Joustava valmistusjärjestelmä on kuitenkin luonteensa vuoksi otollinen kohde kuntoon perustuvaan kunnossapitoon – käytännössä kaikki osajärjestelmät ovat kenttäväylän yli yhteydessä järjestelmän soluohjaimeen, mistä johtuen tilatietojen keruuta varten ei ole tarpeen luoda uutta tiedonsiirtoväylää. Lisäksi, mikäli asiakas sen sallii ja hyödyntää yrityksen omaa, suojattua etäyhteyksratkaisua, on yrityksellä soluohjaimen etäyhteyden ansiosta valmiudet tallettaa järjestelmän tilaan liittyvää dataa verkon yli yhä enenevässä määrin myös omille palvelimilleen. Näin sitä voidaan kerätä enemmän, sen prosessointi on tehokkaampaa ja sitä voidaan verrata muiden, vastaavien järjestelmien tuloksiin, mikä osaltaan parantaa valvonnan tarkkuutta. Tässä luvussa palataan lyhyesti työn tuloksiin sekä sivutavoitteena olleeseen kehitysprojektin tiekarttaan.

6.1 Kriittisyyskartoituksesta

Vaikka tässä työssä komponenttien kriittisyyttä arvioitiin nimenomaan puhtaan kriittisyysarvon pohjalta, tulee arvioinnissa kehitysprojektin edetessä vaiheittain siirtyä käyttämään

RPN-arvoa. Tällöin havaittavuus on mukana tulosten muodostumisessa, mikä antaa todellisemman kuvan tilanteen vakavuudesta ja ottaa huomioon mahdollisuuden siitä, että vikaantuminen onnistuneesti havaitaan ja pysäytetään ennen seuraamuksia.

Kriittisyyskartoituksessa tässä vaiheessa saaduista tuloksista voidaan mielekkäästi poimia valitun osa-alueen kriittiset komponentit erilaisin perustein, mitä voidaan suoraan hyödyntää kehitysprojektin tavoitteisiin ja kohdentamiseen liittyvässä päätöksenteossa. Luvussa 5 nähtiin (kuva 9) järjestelmän kokonaiskriittisyyden laskevan 80 %, mikäli järjestelmän kriittisimpien 55 komponentin kriittisyys poistettaisiin. Toinen, samasta kuvasta näkyvä tulos on, että 40 kriittisimmän komponentin kriittisyysarvon laskeminen alle 20:n laskisi järjestelmän suurinta kriittisyyttä n. 70 %. Kuten tuloksissa todettiin, tämä myös käytännössä lähes poistaisi tuotantopysähdykset ja usein ilmenevät vikaantumistavat järjestelmästä, mikä kehitysprojektin tavoitteista riippuen tekee siitä mahdollisesti mielekkään rajanvedon projektin laajuudelle.

Alla on lyhyesti listattu ehdotelma komponenttiryhmistä, joiden tulisi työn tulosten sekä allekirjoittaneen kokemuksen perusteella ehdottomasti olla mukana kehitysprojektin ensimmäisessä läpiviennissä. Lähes kaikki ehdotetut komponentit ovat mukana aiemmin mainitussa 55 kriittisimmän komponentin joukossa, suurin osa myös 40 kriittisimmän sisällä.

- Anturit ja enkooderit (pois lukien hydraulikan paineanturit)
- Kaikki TwinSAFE komponentit
- Turvareleet
- Taajuusmuuttajat (vain uusin mallisto on kriittisyydeltään melko vähäinen)
- Hissin virransyöttö
- Hissin mekaniikan kaikki osat, joilla on jokin tuotantopysähdysarvo

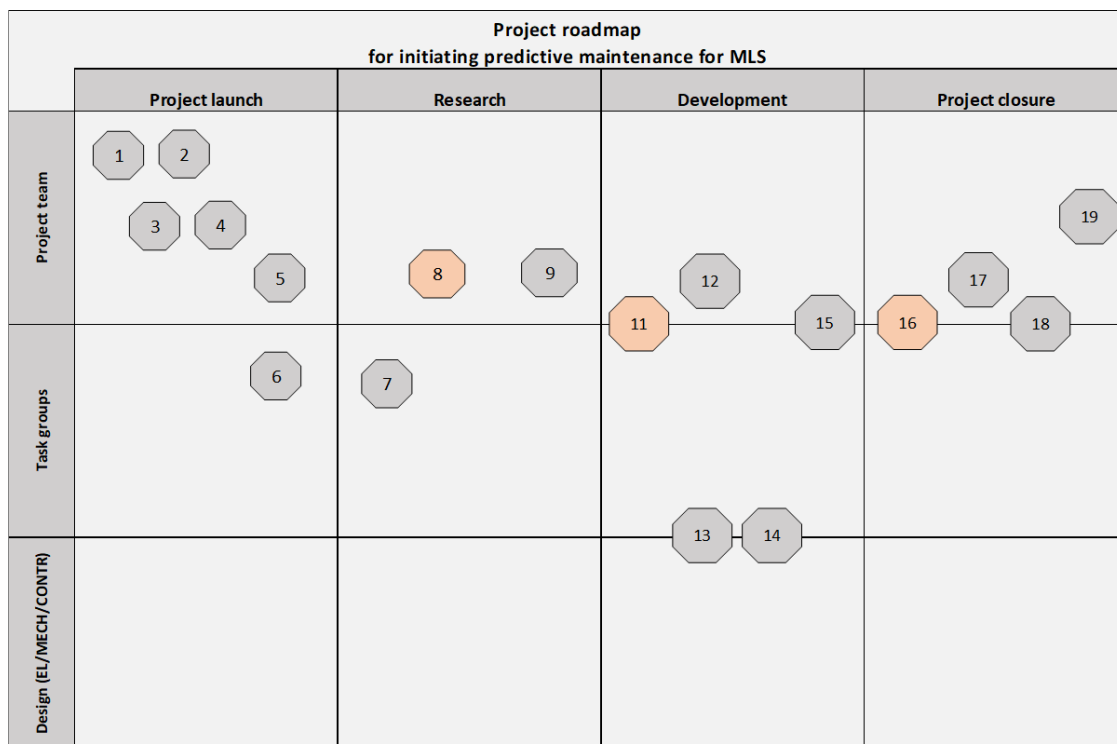
Työn aikana selvitettiin myös joitain mahdollisesti tehokkaita komponenttien kunnonvalvonnan menetelmiä. Näiden menetelmien valinta eri kohteisiin on luonnollisesti iso osa kehitysprojektiin kuuluvasta työstä, mutta työssä nousseiden kehitysehdotelmien joukosta on helppo nähdä esimerkiksi antureiden osalta I/O-Link -teknologian käyttöönoton ja järjestelmän käytöksen vertaamisen ohjearvoihin olevan mahdollisia ratkaisuja.

6.2 Kehitysprojektin jatko

Työn tavoitteisiin kuului myös koostaa yrityksen kehitysprojektille yleistason kuvaus projektin jatkosta diplomityön päätyttyä. Roadmap, eli tiekartta, on helposti ymmärrettävä ylätason katsaus projektin tärkeisiin vaiheisiin. Tiekartan avulla projektin sisältö, kulku, riippuvuussuhteet, riskit ja tavoitteet ovat helposti esitettävissä. Projektipäällikkö kokoaa tiekartan ja käyttää sitä kommunikaatiovälineenä ennen projektin käynnistymistä ja sen aikana esittääkseen asianmukaiset odotukset projektille, jakaakseen ylätason suunnitelmat ja korostaakseen työn tärkeimpiä osioita. Tiekartta ei ole projektisuunnitelma, resurssienhallintatyökalu, edistymisen seurannan työkalu tai ominaisuuslista, vaan se on tarkoitus pitää riittävän yksinkertaisena jotta sen avulla voidaan helposti korostaa projektin pääasiallisia vaiheita ja tavoitteita. Näin voidaan varmistaa projektin etenevän kohti näitä tavoitteita [31].

Kuvasta 11 on nähtävissä graafinen, tiekarttamallinen esitys kehitysprojektin jatkosuunnitelmasta. Tiekarttaan on kirjattu kehitysprojektin ensimmäisen toteutuksen kulku niin, että se lähtee liikkeelle projektiryhmän kokoamisesta, projektipäällikön määrittämisestä, sekä siitä, miten ryhmän tulisi muodostua. Tiekartta päättyy vika- ja vaikutusanalyysin uudelleentoteuttamiseen, vähintäänkin niiltä osin kuin järjestelmä on projektin aikana muuttunut. Tämän jälkeen päätetään, aiotaanko kehitysprojektia jatkaa pidemmälle tekemällä se uudelleen, mikä olisi jatkuvan parantamisen periaatteen mukaisesti suositeltavaa.

Kehitysprojektin vaiheet on kirjattu erilliseen listaan joka on toimitettu työn tilaajalle. Projektin vaiheisiin kuuluu myös kolme virstanpylvästä, joiden kohdalla projektiryhmän tulee tehdä projektin jatkon kannalta olennaisia päätöksiä. Nämä virstanpylväät on tiekartassa merkitty oranssilla. Tiekartan runkona toimii projektin aikajärjestyksellinen kehitys välillä aloitus – tutkimus – kehitys – lopetus, ja projektin eri vaiheet on allokoitu kolmeen eri vastualueeseen: projektiryhmälle (Project Group), työryhmille (Task Groups) ja suunnittelulle (Design). Projektin laajuus on tiekartan määrittelyssä jätetty tarkoituksella tulevan projektiryhmän päätettäväksi. Kuvan 11 jälkeen on kuitenkin allekirjoittaneen lyhyt ehdotelma projektin ensimmäisen toteutuksen mahdolliseksi laajuudeksi ja tavoitteeksi.



Kuva 11 Kehitysprojektin tiekartta

Kehitysprojektin tulosten maksimoinnin kannalta projektin ensimmäinen vaihe kannattaa ehdottomasti rajata joko pelkkään hyllystöhissiin, tai hyllystöhissiin ja järjestelmäkomponentteihin, jolloin vaikutus on suurin tuotantopysähdysten minimointia ajatellen. Mikäli järjestelmän vikaantuminen näiltä osin pystyttäisiin tehokkaasti estämään, poistuisivat tuotantopysähdysten aiheuttavat vikaantumistyytit valtaosasta järjestelmiä lähes kokonaan. Kuten työssä on aiemmin kerrottu, on järjestelmän muita laitteita vika- ja vaikutusanalyysissä kohdeltu tuotantokriittisinä analyysin yhtenäistämiseksi. Käytännössä ne eivät kuitenkaan läheskään aina sitä ole, sillä useimmissa MLS-tyyppin järjestelmissä on enemmän kuin yksi kutakin laitetyyppiä.

Mikäli kehitysprojekti saatettaisiin hyvin tuloksin tavoitteeseensa vaikka pelkän hyllystöhissin osalta, voitaisiin näitä tuloksia melko laajalti hyödyntää myös muiden laitteiden kohdalla komponenttien samankaltaisuuden, ja ajoittain suoran yhtenäisyydenkin, vuoksi. Esimerkiksi lähes kaikki latausasemassa käytetyt kenttäväyläkomponentit ovat käytössä myös hyllystöhississä, mutta toiseen suuntaan asia ei ole näin. Täten on järkevää kohdistaa etenkin alkuvaiheen kehitystyö nimenomaan hyllystöhissiin. Lisäksi, huolimatta mekaniikkaosien keskimäärin verrattain pienestä kriittisyysarvosta etenkin hyllystöhissin mekaniikkaan on järkevää panostaa, sillä niiden osuus teknisen tuen työpyynnöistä osoittaa, että asiakkailta on niihin liittyviä ongelmia verrattain usein. Täten kehitys hissin mekaniikan kunnonvalvonnassa olisi asiakastytytyväisyyden kannalta mielekästä.

Kehitysprojektin ensimmäisen vaiheen tavoitteet ja laajuus on tarkoitus määritellä yrityksen tuotepäälliköiden kanssa loppukeväälle 2019 suunnitellussa aloituspalaverissa, jolloin tämän diplomityön tuloksetkin otetaan käyttöön.

LÄHTEET

- [1] Fastems Oy Ab, Who we are [verkkoaineisto], [viitattu 30.3.2019]. Saatavissa: <https://www.fastems.com/company/>
- [2] Fastems Oy Ab, Fastems intranet, Lifecycle Services, vain sisäiseen käyttöön, 2018, [viitattu 28.4.2019].
- [3] Fastems Oy Ab, Lifecycle Services [verkkoaineisto], [viitattu 28.4.2019]. Saatavissa: <https://www.fastems.com/offering/services/>
- [4] Fastems Oy Ab, Fastems intranet, Offering – Availability Services, vain sisäiseen käyttöön, 2017, [viitattu 28.4.2019].
- [5] PSK 6201, Kunnossapito: käsitteet ja määritelmät, 3. painos, PSK.Standardisointiyhdistys ry, 2011, 30 s.
- [6] J. Järviö, T. Lehtiö, Kunnossapito: tuotanto-omaisuuden hoitaminen, 5. painos, Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, 288 s.
- [7] VTT, Käyttövarmuuden hallinta – standardista käytäntöön [verkkoaineisto], [viitattu 28.4.2019]. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T69.pdf>
- [8] H. Laine, Tehokas kunnossapito: tuottavuutta käynnissäpidolla. 1. painos, Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, 275 s.
- [9] Mikkonen H, (ed.), Miettinen J, (ed.), Leinonen P, (ed.), Jantunen E, (ed.), Kokko V, (ed.), Riutta E, (ed.) et al, Kuntoon perustuva kunnossapito: käsikirja, Kerava: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, 2009.(Kunnossapidon julkaisusarja), 606 s.
- [10] J. Levitt, Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance. 2nd edition. New York: Industrial Press Inc, 2011, 332 s.
- [11] PSK 6800, Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa, PSK.Standardisointiyhdistys ry, 2008, 13 s.
- [12] VTT, Riskianalyysit [verkkoaineisto], [viitattu 12.4.2019]. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/palvelut/liiketoiminnan-kehitt%C3%A4minen/riskienhallinta/riskianalyysit>
- [13] Työsuojeluhallinto, Työsuojeluoppaita ja -ohjeita 14 – Riskin arviointi, Tampere: Aluehallintovirasto, 2013, 14 s. [Viitattu 29.3.2019]. Saatavissa: https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/2426906/Riskinarviointi_TSO_14_2013.pdf/9bfd87ed-88be-47cb-8611-d8b4ac99b6a1

- [14] P. Baybutt, Guidelines for designing risk matrices. Proc. Safety Prog., 37: 49-55. doi:10.1002/prs.11905, Wiley Online Library, 2017, 7 s.
- [15] M. Haverila, E. Uusi-Rauva, I. Kouri, A. Miettinen, Teollisuustalous, Tampere: Infacs Oy, 2005, 510 s.
- [16] SFS-EN IEC 60812:2018, Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA), Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS Ry, 2018, 76 s.
- [17] Datalyzer, What is FMEA?, Datalyzer International, 2015, [viitattu 8.4.2019]. Saatavissa: <https://www.datalyzer.com/knowledge/fmea/>
- [18] D.H. Stamatis, Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. 2nd edition, Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, 2003, 442 s.
- [19] American Society for Quality, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) [verkkoaineisto], [viitattu 29.3.2019]. Saatavissa: <https://asq.org/quality-resources/fmea>
- [20] Dyadem Press, Guidelines for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), For Automotive, Aerospace and General Manufacturing Industries, Dyadem Press, 2003, 130 s.
- [21] C. Anderson, Pitkä häntä: Miksi tulevaisuudessa myydään vähemmän enempää. Helsinki: Terra Cognita, 2006, 255 s.
- [22] H. K. Shivanand, Flexible Manufacturing System, New Age International, 2006, 17 s.
- [23] Fastems Oy Ab, Fastems intranet, Offering, vain sisäiseen käyttöön, 2019, [viitattu 2.4.2019].
- [24] Fastems Oy Ab, The Most Intelligent Software in the Industry 4.0. [Viitattu 2.4.2019]. Saatavissa: <https://www.fastems.com/offering/mms/>
- [25] AMCI, What is a PLC? [verkkoaineisto], [viitattu 12.4.2019]. Saatavissa: <https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/what-plc/>
- [26] IO-Link Consortium, What is IO-Link? [verkkoaineisto], [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa: https://www.io-link.com/en/Technology/what_is_IO-Link.php?thisID=76
- [27] PLCOpen, IEC 61131-9 [verkkoaineisto], [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa: <https://www.plcopen.org/iec-61131-9>
- [28] Beckhoff, Communication, EL6224 [verkkoaineisto], [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa: <https://www.beckhoff.com/english.asp?ethercat/el6224.htm>

- [29] E. Eitel, Informa PLC, Basics of Rotary Encoders: Overview and New Technologies, 2014, [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa: <https://www.machinedesign.com/sensors/basics-rotary-encoders-overview-and-new-technologies-0>
- [30] C. Berardinelli, iSixSigma, The Complete Guide To Understanding Control Charts [verkkoaineisto], [viitattu 27.4.2019]. Saatavissa: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/control-charts/a-guide-to-control-charts/>
- [31] Smartsheet, What is a project roadmap? [verkkoaineisto], [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa: <https://www.smartsheet.com/answers-all-your-project-roadmap-questions>

LIITE A: VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSSITÄULUKKO

| komponentti | komponenttiryhmä (veanaka / sähkö / kenttäväylä) | laite | mahdollisia vaihettomia/ muutenvaiht mitten yleensä ilmeinen | Vika oletettavasti aiheutaa tuotantopysäytys: minuuteissa - pölyissä - kuukausissa | Vian oletettava haitan suuruus (kun ei tuotantopysäytys) Lentä - kestävöikea - Väikea | S (1-10) | Mahdollinen syy vikaan / aiheuttaja | O (1-10) | D erustava /emaklova (nykyinen) | D reagoiva | D kehitys ↓ (kalmetty) | D kehitys (kalmetty) | Enkstäisyys tai seurausten lieventäminen | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (kalmetty) | CRI S*O |
|-------------|--|-------------|---|--|--|----------|--|----------|---------------------------------------|------------|------------------------------|-------------------------|--|-----------------------|----------------------|------------------------------------|------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | Kenttäväylä | Hissi | Väylävirhe laitteeseen karkaa | minuuteissa -tuneissa | - | 9 | Jänttepiikki Olosuhteellampella, kosteus, tärinä) Väilinen komponentti(vajaa elikkää) | 8 | 5 | 2 | 4 | 2 | | 144 | 288 | 144 | 72 |
| A | Kenttäväylä | Järjestelmä | Väylävirhe laitteeseen karkaa | minuuteissa -tuneissa | - | 9 | Jänttepiikki Olosuhteellampella, kosteus, tärinä) Väilinen komponentti(vajaa elikkää) | 8 | 5 | 2 | 4 | 2 | | 144 | 288 | 144 | 72 |
| B | Kenttäväylä | Latausasema | Twins&Evirhe turvapäätys koko järjestelmälle | minuuteissa | - | 10 | Jänttepiikki Olosuhteellampella, kosteus, tärinä) Väilinen komponentti(vajaa elikkää) | 7 | 5 | 3 | 3 | 3 | | 210 | 210 | 210 | 70 |
| C | Sähkö | Hissi | Laite pysähty jättämävriheet Palkkavriheet Säätömaisia pulsivirta | minuuteissa -tuneissa | väikea | 6,75 | Väylävirhe laiteeseen (kun pääsyssään -> kosteus) Kokoon päläsy reite | 9 | 5 | 3 | 4 | 2 | 5 | 182,25 | 243 | 121,5 | 61 |
| B | Kenttäväylä | Hissi | Twins&Evirhe turvapäätys koko järjestelmälle | minuuteissa | - | 10 | Jänttepiikki Olosuhteellampella, kosteus, tärinä) Väilinen komponentti(vajaa elikkää) | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | | 180 | 180 | 180 | 60 |
| B | Kenttäväylä | Kuljetin | Twins&Evirhe turvapäätys koko järjestelmälle | minuuteissa | - | 10 | Jänttepiikki Olosuhteellampella, kosteus, tärinä) Väilinen komponentti(vajaa elikkää) | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | | 180 | 180 | 180 | 60 |
| B | Kenttäväylä | Järjestelmä | Twins&Evirhe turvapäätys koko järjestelmälle | minuuteissa | - | 10 | Jänttepiikki Olosuhteellampella, kosteus, tärinä) Väilinen komponentti(vajaa elikkää) | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | | 180 | 180 | 180 | 60 |
| B | Kenttäväylä | Muu laite | Twins&Evirhe turvapäätys koko järjestelmälle | minuuteissa | - | 10 | Jänttepiikki Olosuhteellampella, kosteus, tärinä) Väilinen komponentti(vajaa elikkää) | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Hissi | Twins&Evirhe turvapäätys koko järjestelmälle | minuuteissa | - | 10 | Jänttepiikki Olosuhteellampella, kosteus, tärinä) Väilinen komponentti(vajaa elikkää) | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | | 180 | 180 | 180 | 60 |
| D | Kenttäväylä | Latausasema | Twins&Evirhe turvapäätys koko järjestelmälle | minuuteissa | - | 10 | Jänttepiikki Olosuhteellampella, kosteus, tärinä) Väilinen komponentti(vajaa elikkää) | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | | 180 | 180 | 180 | 60 |

LIITE B: KRIITTISIMMÄT KOMPONENTIT KOMPONENTTIRYHMITTÄIN

| Komponentti salattu | Komponenttiryhmä (Mekaniikka / Sähkö / Kenttäväylä) | Laite | S (1-10) | O (1-10) | Dennustava /ennakoiva (nykyinen) | D reagoiva | D kehitys | D kehitys (käännetty) | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (käänteinen) | CRIT S*O |
|------------------------|---|-------------|----------|----------|--|------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------|
| A | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 8 | 5 | 2 | 4 | 2 | 144 | 288 | 144 | 72 |
| B | Kenttäväylä | Latausasema | 10 | 7 | 5 | 3 | 3 | 3 | 210 | 210 | 210 | 70 |
| D | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 180 | 180 | 180 | 60 |
| E | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 6 | 5 | 2 | 4 | 2 | 120 | 240 | 120 | 60 |
| F | Kenttäväylä | Hissi | 9 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 162 | 216 | 108 | 54 |
| G | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 5 | 5 | 5 | 4 | 2 | 250 | 200 | 100 | 50 |
| K | Kenttäväylä | Muu laite | 6,75 | 6 | 5 | 4 | 5 | 1 | 162 | 202,5 | 40,5 | 40,5 |
| L | Kenttäväylä | Järjestelmä | 10 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 120 | 120 | 120 | 40 |
| M | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 120 | 120 | 120 | 40 |
| N | Kenttäväylä | Hissi | 10 | 4 | 5 | 2 | 4 | 2 | 80 | 160 | 80 | 40 |

| Komponentti salattu | Komponenttiryhmä (Mekaniikka / Sähkö / Kenttäväylä) | Laite | S (1-10) | O (1-10) | Dennustava /ennakoiva (nykyinen) | D reagoiva | D kehitys | D kehitys (käännetty) | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (käänteinen) | CRIT S*O |
|------------------------|---|---------------------------|----------|----------|--|------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------|
| X | Mekaniikka | Hissi | 9 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 81 | 81 | 81 | 27 |
| AC | Mekaniikka | Hissi | 5,25 | 5 | 5 | 3 | 5 | 1 | 78,75 | 131,25 | 26,25 | 26,25 |
| AE | Mekaniikka | Hissi | 3,5 | 7 | 5 | 5 | 3 | 3 | 122,5 | 73,5 | 73,5 | 24,5 |
| AG | Mekaniikka | Hissi | 3,125 | 7 | 5 | 2 | 2 | 4 | 43,75 | 43,75 | 87,5 | 21,875 |
| AH | Mekaniikka | Turvaovi(SDS/S DT/SDD) | 3 | 7 | 5 | 5 | 2 | 4 | 105 | 42 | 84 | 21 |
| AL | Mekaniikka | Muu laite | 5 | 4 | 5 | 2 | 2 | 4 | 40 | 40 | 80 | 20 |
| AM | Mekaniikka | Hissi | 2,5 | 8 | 5 | 4 | 3 | 3 | 80 | 60 | 60 | 20 |
| AN | Mekaniikka | Muu laite | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 60 | 60 | 60 | 20 |
| AO | Mekaniikka | Hissi | 9 | 2 | 5 | 5 | 3 | 3 | 90 | 54 | 54 | 18 |
| AP | Mekaniikka | Muu laite | 6 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 54 | 54 | 54 | 18 |

| Komponentti salattu | Komponenttiryhmä (Mekaniikka / Sähkö / Kenttäväylä) | Laite | S (1-10) | O (1-10) | Dennustava /ennakoiva (nykyinen) | D reagoiva | D kehitys | D kehitys (käännetty) | RPN S*O*D reagoiva | RPN S*O*D kehitys | RPN S*O*D kehitys (käänteinen) | CRIT S*O |
|------------------------|---|-------|----------|----------|--|------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------|
| C | Sähkö | Hissi | 6,75 | 9 | 5 | 3 | 4 | 2 | 182,25 | 243 | 121,5 | 60,75 |
| H | Sähkö | Hissi | 6,75 | 7 | 5 | 2 | 3 | 3 | 94,5 | 141,75 | 141,75 | 47,25 |
| I | Sähkö | Hissi | 9 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | 135 | 180 | 90 | 45 |
| J | Sähkö | Hissi | 6,75 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 121,5 | 162 | 81 | 40,5 |
| Q | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 1 | 3 | 3 | 33,75 | 101,25 | 101,25 | 33,75 |
| R | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | 101,25 | 135 | 67,5 | 33,75 |
| S | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | 101,25 | 135 | 67,5 | 33,75 |
| T | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 3 | 4 | 2 | 101,25 | 135 | 67,5 | 33,75 |
| U | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 168,75 | 168,75 | 33,75 | 33,75 |
| V | Sähkö | Hissi | 6,75 | 5 | 5 | 3 | 5 | 1 | 101,25 | 168,75 | 33,75 | 33,75 |

LIITE C: SERVICE DESK ISSUE CATEGORIES

| Service Desk issue categories | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Connectivity / Network | Software |
| MC communication | 3rd Party software |
| Network connection | Database Issue Oracle |
| Oracle / Database connection | Database Issue SQL |
| PLC connection | DNC Software |
| Remote Connectivity | Fastwizard |
| Not defined | MMS4 - MMS2 Fastems services |
| Hardware / Electrical | MMS4 - MMS2 UI |
| Faulty Beckhoff module | MMS5 Fastems services |
| Faulty cable / wiring | MMS5 UI |
| Faulty drive unit / encoder | MMS6 Fastems Services |
| Faulty electrical component | Older MMS UI |
| Faulty Fieldbus module | Other software |
| Faulty MC IO hardware | Parameter adjustment |
| Faulty PC hardware (Server / Client) | PLC program |
| Faulty robot IO component | Robot control software |
| Faulty sensor – Crane | TwinCAT 2 configurations |
| Faulty sensor – MC | Not defined |
| Faulty sensor – Stations | Third-Party components |
| Other faulty component | Customer ERP |
| Not defined | Machine |
| Mechanical | Other hardware |
| Conveyor | Robot |
| Crane | Not defined |
| IT-table - MC | To be determined |
| Loading Station | Not defined |
| Robot | User support |
| Structure | Operator fault |
| Not defined | Operator instructions |
| Not determined | Not defined |
| Not defined | |